



FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

DISERTACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

**“ESTABILIZACIÓN DE TALUDES APLICANDO EL PROGRAMA GEOTÉCNICO  
GEO & SOFT Y APLICACIÓN PRÁCTICA EN TALUD DE LA VÍA PIFO”**

AUTOR:

DIEGO EFRAÍN MESÍAS BASURTO

DIRECTOR: ING. WILSON CANDO

QUITO, 2018

## **Agradecimiento**

Agradezco a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, a los profesores de la Facultad de Ingeniería y a todas las personas que me brindaron su apoyo y que han permitido la realización de esta investigación.

Al Ing. Wilson Cando, por su guía, dirección y corrección de esta investigación, así como el apoyo para la realización de la misma.

Al Ing. Oscar Jaramillo e Ing. Jorge Buchelli, por el tiempo brindado a la corrección del presente trabajo.

Al Laboratorio de Suelos y Resistencia de Materiales de la Facultad por la colaboración brindada al facilitar el programa geotécnico usado para realizar la investigación.

A los profesores de la Facultad de Ingeniería, en especial a Marco Jácome, Oscar Jaramillo, Wilson Cando que con sus consejos guiaron la formación tanto profesional como personal durante toda la carrera.

A mi familia y amigos que siempre me acompañaron en este periodo de formación.

Diego Mesías

### **Dedicatoria**

A mis padres Efraín y Leonor, y mis hermanas Diana y Mayra, por todo el apoyo brindado a lo largo de este arduo camino, siempre estuvieron ahí en los buenos y malos momentos, dando siempre el consejo preciso con todo su amor.

A la Ing. Nicole Recalde por todo su apoyo en mi carrera estudiantil y por estar siempre a mi lado.

A mis amigos, que me dieron su confianza y su apoyo incondicional.

Diego Mesías

## Índice

Introducción .....	8
Alcance .....	8
Planteamiento del Problema .....	9
Objetivo General .....	10
Objetivos Específicos.....	10
1. Generalidades.....	11
1.1. Definiciones.....	11
1.2. Antecedentes.....	11
2. Análisis y estabilización de taludes .....	12
2.1. Investigaciones in situ. ....	12
2.2. Factores influyentes en la estabilidad.....	13
2.3. Tipos de falla. ....	15
2.5. Factores de seguridad .....	19
3. Caracterización de la zona de estudio .....	22
3.1. Ubicación.....	22
3.2. Factores Climáticos. ....	22
3.3. Peligro sísmico. ....	24
3.4. Estudios geotécnicos.....	26
3.5. Coeficiente activo.....	29
4. Introducción a Geo&Soft (I.L.A.).....	30
5. Medidas de estabilización.....	33
5.1. Reconfiguración geométrica.....	33
5.2. Muro claveteado. ....	33
5.3. Muro anclado.....	37
6. Análisis de alternativas .....	42
6.1. Estado actual.....	42
6.2. Alternativa 1 (Reconfiguración geométrica). ....	43
6.3. Muro claveteado. ....	45
6.4. Muro anclado.....	48
6.5. Reconfiguración geométrica + Muro claveteado.....	49
7. Diseño .....	51
7.1. Muro claveteado. ....	51
7.2. Muro anclado.....	59
7.3. Reconfiguración geométrica + Muro claveteado.....	67
8. Resultados.....	76
8.1. Alternativas.....	76

8.2. Presupuesto.....	77
9. Conclusiones.....	80
10. Recomendaciones.....	82
11. Bibliografía.....	83
12. Anexos.....	84
12.1. Anexo 1.....	84
12.2. Anexo 2.....	87
12.3. Anexo 3.....	90
12.4. Anexo 4.....	94

## Índice de Figuras

<i>Figura 1.</i> Talud Km 24 Vía Colibrí-Pifo.....	9
<i>Figura 2.</i> Talud Km 24 Vía Colibrí-Pifo.....	12
<i>Figura 3.</i> Trabajos de campo.....	13
<i>Figura 4.</i> Perfil de talud a estabilizar.....	14
<i>Figura 5.</i> Comparación entre métodos clásicos y MEF.....	18
<i>Figura 6.</i> Recomendaciones para factores de seguridad.....	19
<i>Figura 7.</i> Factores de seguridad por corte mínimos.....	20
<i>Figura 8.</i> Factores de seguridad mínimos recomendados.....	20
<i>Figura 9.</i> Giro en U permitido.....	22
<i>Figura 10.</i> Ubicación de talud estudiado.....	22
<i>Figura 11.</i> Mapa de Isoyetas.....	23
<i>Figura 12.</i> Mapa de Isotermas.....	24
<i>Figura 13.</i> Mapa de zonificación sísmica.....	25
<i>Figura 14.</i> Estrato superior.....	28
<i>Figura 15.</i> Estrato inferior.....	28
<i>Figura 16.</i> Pantalla de inicio programa Geo&Soft (I.L.A.).....	30
<i>Figura 17.</i> Cuadro para editar el perfil del terreno.....	31
<i>Figura 18.</i> Cuadro para editar la superficie de discontinuidad.....	31

<i>Figura 19.</i> Cuadro de ingreso de coeficientes sísmicos. ....	32
<i>Figura 20.</i> Esquema de Nails o Clavos. ....	34
<i>Figura 21.</i> Elementos de muro claveteado. ....	35
<i>Figura 22.</i> Esquema de un ensayo de carga de un clavo. ....	37
<i>Figura 23.</i> Clasificación de anclajes.....	41
<i>Figura 24.</i> Diagrama de presiones de tierra Terzaghi y Peck.....	41
<i>Figura 25.</i> Reconformación geométrica (Opción 1). Geo5. ....	44
<i>Figura 26.</i> Reconformación geométrica (Opción 2).....	45
<i>Figura 27.</i> Ingreso de datos Muro claveteado. ....	46
<i>Figura 28.</i> Valores típicos de qult. ....	47
<i>Figura 29.</i> Ingreso de datos Muro anclado.....	48
<i>Figura 30.</i> Ingreso de datos Reconformación + Muro claveteado. ....	49
<i>Figura 31.</i> Geometría de clavos.....	51
<i>Figura 32.</i> Comprobación de deslizamiento condición estática. ....	53
<i>Figura 33.</i> Comprobación de deslizamiento condición pseudo-estática. ....	53
<i>Figura 34.</i> Fuerza en cada clavo condición estática. ....	55
<i>Figura 35.</i> Fuerza en cada clavo condición pseudo-estática. ....	56
<i>Figura 36.</i> Catálogo malla Armex. ....	57
<i>Figura 37.</i> Verificación general dirección horizontal condición pseudo-estática. ....	57
<i>Figura 38.</i> Verificación general dirección vertical condición pseudo-estática. ....	58
<i>Figura 39.</i> Verificación refuerzo en clavo más cargado.....	58
<i>Figura 40.</i> Modelo de franja de 1.5m de muro anclado (Etabs 2016).....	62
<i>Figura 41.</i> Modelo de sección del muro anclado. ....	66
<i>Figura 42.</i> Geometría de clavos.....	68
<i>Figura 43.</i> Comprobación de deslizamiento condición estática. ....	69
<i>Figura 44.</i> Comprobación de deslizamiento condición pseudo-estática. ....	70
<i>Figura 45.</i> Fuerza en cada clavo condición estática. ....	72

<i>Figura 46.</i> Fuerza en cada clavo condición pseudo-estática. ....	72
<i>Figura 47.</i> Verificación general dirección horizontal condición pseudo-estática. ....	73
<i>Figura 48.</i> Verificación general dirección vertical condición pseudo-estática. ....	74
<i>Figura 49.</i> Verificación refuerzo en clavo más cargado.....	74

## Índice de Tablas

Tabla 1 .....	15
Tabla 2 .....	17
Tabla 3 .....	26
Tabla 4 .....	27
Tabla 5 .....	32
Tabla 6 .....	43
Tabla 7 .....	44
Tabla 8 .....	45
Tabla 9 .....	47
Tabla 10 .....	49
Tabla 11 .....	50
Tabla 12 .....	64
Tabla 13 .....	64
Tabla 14 .....	76
Tabla 15 .....	77
Tabla 16 .....	78
Tabla 17 .....	78
Tabla 18 .....	79
Tabla 19 .....	79

## **Introducción**

El presente trabajo de investigación busca encontrar la mejor alternativa para realizar la estabilización de un talud que se encuentra en el Km 24 de la vía E35 Colibrí-Pifo, mediante el uso del programa geotécnico GEO&SOFT, cuyo módulo específico para esta tarea es I.L.A. (Análisis de estabilidad de taludes y planificación de obras de contención) y comparar los resultados con métodos manuales, para de esta manera validar la información entregada por el mismo.

El Ingeniero Civil, entre los muchos problemas que necesita resolver, el que se presenta con mucha frecuencia corresponde a la inestabilidad de taludes, ya que los mismos no pueden considerarse estables indefinidamente, al estar expuestos a la intemperie y la erosión, causas que hacen que el talud busque una posición más estable (Crespo, 2014, p.219).

Una vez realizado el análisis del talud tanto con un programa geotécnico como a través de métodos manuales, se propondrán alternativas de estabilización y se probarán con el fin determinar cuáles alternativas son las más factibles para poder realizar el diseño final y la estimación de costos para poder elegir la opción ideal para el caso.

## **Alcance**

Se realizará un estudio descriptivo sobre el talud a estabilizar, así como de la metodología a utilizarse para la realización de este propósito, adquiriendo la información de la topografía y de los ensayos obtenidos en campo, así como de la modelación del mismo en el programa GEO & SOFT, y de necesitarse en otros programas, que serán utilizado para el diseño.

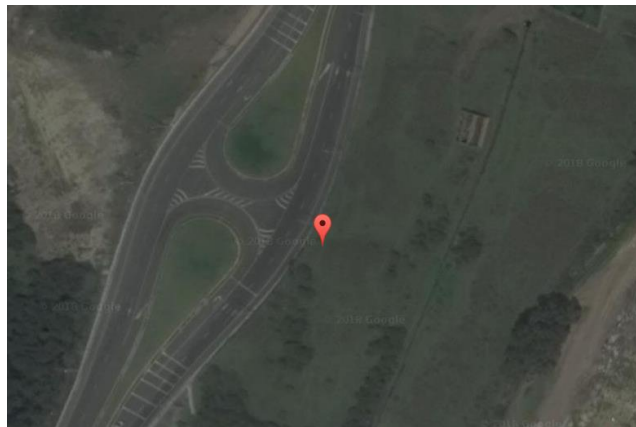
Se compararán los resultados con la utilización de métodos manuales para validar la información arrojada por el programa.



## Planteamiento del Problema

Los sondeos y trabajos de campo proporcionarán parámetros de cálculo necesarios para los trabajos en oficina como la modelación del talud en el programa GEO & SOFT, mismo con el que se cuenta en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ingeniería, con la finalidad de analizar cada uno de los métodos más utilizados para la estabilización de taludes y obtener el más adecuado tanto en la parte técnica como en el aspecto económico. De necesitarse como complemento se usarán otros programas para complementar los resultados del diseño.

Como aplicación práctica se deben realizar los estudios necesarios para realizar la estabilización del talud del Km 24 de la vía E35 Colibrí-Pifo, con la finalidad de obtener el factor de seguridad necesario para asegurar un correcto comportamiento del mismo ante agentes externos.



*Figura 1.* Talud Km 24 Vía Colibrí-Pifo.

Fuente: (Google Earth, 2018).

### **Objetivo General**

Realizar los estudios para la estabilización de talud del Km 24 de la vía E35 Colibrí-Pifo utilizando el programa geotécnico GEO & SOFT.

### **Objetivos Específicos**

- Realizar ensayos en campo y de laboratorio para obtener las propiedades mecánicas del suelo.
- Modelar el talud en el programa GEO & SOFT aplicando varias metodologías de estabilización.
- Determinar el método más factible para la estabilización del talud.
- Obtener los costos de la estabilización del talud.
- Comparar los resultados obtenidos con el programa GEO & SOFT con métodos manuales de cálculo.

## **1. Generalidades**

### **1.1. Definiciones.**

**TALUD:** Superficie de terreno expuesta situada a un ángulo con la horizontal, esta puede ser natural o construida (Das, 2001, p.339). Los taludes para la construcción de infraestructura o con fines de edificación se diseñan para ser estables a largo plazo (Gonzales de Vallejo, Ferrer, Ortuño y Oteo, 2002, p.430).

**ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES:** “Determinar y comparar el esfuerzo cortante desarrollado a lo largo de la superficie más probable del suelo con la resistencia cortante del suelo” (Das, 2001, p.339).

### **RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE:**

La resistencia al esfuerzo cortante de los suelos interviene directamente en la estabilidad de taludes y terraplenes, ya que, al ser el suelo un material particulado, la falla se produce al romperse los contactos entre los elementos estructurales como son las partículas o grupos de partículas, por lo tanto, la resistencia al esfuerzo cortante se define como el máximo esfuerzo que el suelo puede soportar a una determinada deformación que se acepta como falla (Días Rodríguez, 2014).

### **1.2. Antecedentes.**

Los taludes inestables representan un peligro potencial para las personas que de una u otra forma se verían afectadas por su potencial falla, ya sea al poner en peligro su vida o al interrumpir sus actividades cotidianas.

De aquí la necesidad de estabilizar un talud para proporcionar el nivel de seguridad mínimo requerido para asegurar la integridad y la vida humana que es una de las búsquedas fundamentales del ingeniero civil.

El proyecto tendrá como sitio de estudio al talud del Km 24 de la Vía Colibrí-Pifo que tiene una longitud aproximada de 80 m.

Al realizar una inspección visual del talud a ser estudiado, se pudo constatar que existía material que podía desprenderse en cualquier momento, aunque no representaba un mecanismo total de falla del mismo por lo que un análisis de estabilidad del talud estaría justificado.



*Figura 2.* Talud Km 24 Vía Colibrí-Pifo.

Fuente: Elaborado por Diego Mesías.

Dicha inestabilidad se produce por la exposición del talud a la intemperie, que en esta zona es realmente agresivo, estando expuesto a temperaturas muy altas y a fuertes vientos, que poco a poco van erosionando la superficie del talud y comprometiendo su estabilidad.

## **2. Análisis y estabilización de taludes**

### **2.1. Investigaciones in situ.**

El objetivo principal de las investigaciones in situ son reconocer geotécnicamente el terreno en el cual se encuentra el talud y obtener los parámetros necesarios para analizar su

estabilidad, diseñar el talud, calcular posibles medidas de estabilización y proyectar medidas de drenaje, entre otros (Gonzales de Vallejo et al., 2002).

Uno de los trabajos realizados in situ con el fin de recabar información necesaria para la modelación y el análisis de la estabilidad del talud es la topografía, misma que nos ayuda a obtener los parámetros geométricos del perfil a ser estudiado.

Además, se realizó 1 perforación de 12 metros, con el fin de obtener muestras de suelo cada metro, para de esta manera poder determinar la estratificación del mismo y las propiedades mecánicas de cada estrato encontrado.

De la misma manera se extrajeron 2 muestras inalteradas para realizar los ensayos triaxiales, necesarios para obtener los datos de cohesión y ángulo de fricción interna, datos necesarios para poder completar el modelo y obtener el factor de seguridad para cada posible superficie de falla estudiada.



*Figura 3. Trabajos de campo.*

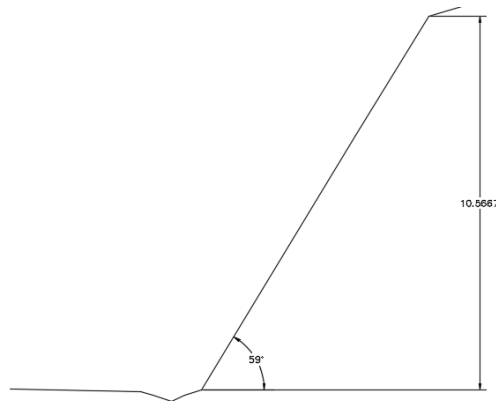
Fuente: Elaborado por Diego Mesías.

## **2.2. Factores influyentes en la estabilidad.**

### **2.2.1. Factores geométricos.**

Los factores geométricos que determinan la estabilidad de un talud son su altura y su inclinación (Gonzales de Vallejo et al., 2002, p.432). De los datos topográficos se pudo

extraer la altura del talud que es 10.57m y el ángulo de inclinación con respecto a la horizontal es de  $59^\circ$ .



*Figura 4.* Perfil de talud a estabilizar.  
Autor: Elaborado por Diego Mesías.

### ***2.2.2. Condiciones hidrogeológicas.***

El nivel freático puede sufrir cambios estacionales o como consecuencia de dilatados periodos lluviosos o de sequía lo que puede causar problemas importantes de estabilidad al crearse altas presiones en las discontinuidades y grietas (Gonzales de Vallejo et al., 2002, p.434).

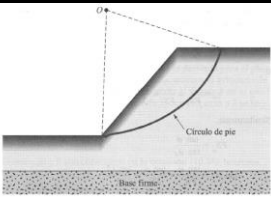
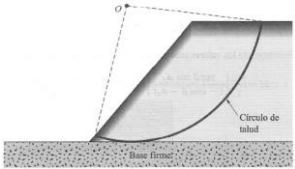
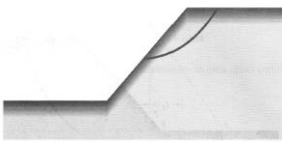
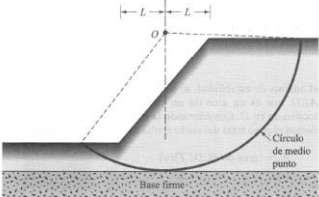
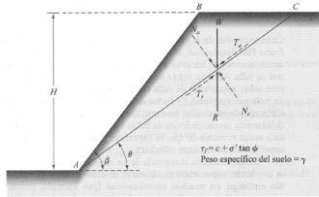
### ***2.2.3. Otros factores.***

Las sobrecargas estáticas y las cargas dinámicas modifican la distribución de las fuerzas y pueden generar condiciones de inestabilidad, entre las estáticas están el peso de edificios, paso de vehículos pesados, etc. Y en el caso de las dinámicas tenemos los sismos que son las que más afectan a las estructuras en nuestro país (Gonzales de Vallejo et al., 2002, p.438).

## 2.3. Tipos de falla.

Tabla 1

*Tipos de falla de taludes.*

Tipo de falla	Superficie de falla	Gráfico
Falla de Talud	Círculo de pie	
Falla de Talud	Círculo de talud	
Falla superficial de talud	Círculo de talud	
Falla de base	Círculo de medio punto	
Falla plana	Falla plana	

Fuente: (Das, 2001). Elaborado por Diego Mesías.

## 2.4. Métodos de análisis de estabilidad de taludes.

Existen tantos métodos de análisis de estabilidad de taludes como autores existen. La lista es muy larga, así como su aplicación y veracidad. En este caso en particular se analizarán 4 métodos que son parte del programa geotécnico que será estudiado más adelante, además de

un método de elementos finitos que nos servirá para comprobar la veracidad de la información entregada por el programa, previo a su utilización en el caso práctico.

En el siguiente cuadro resumen se presentará los métodos utilizados, así como sus limitaciones y sus consideraciones.



Tabla 2  
Métodos de análisis de estabilidad de taludes.

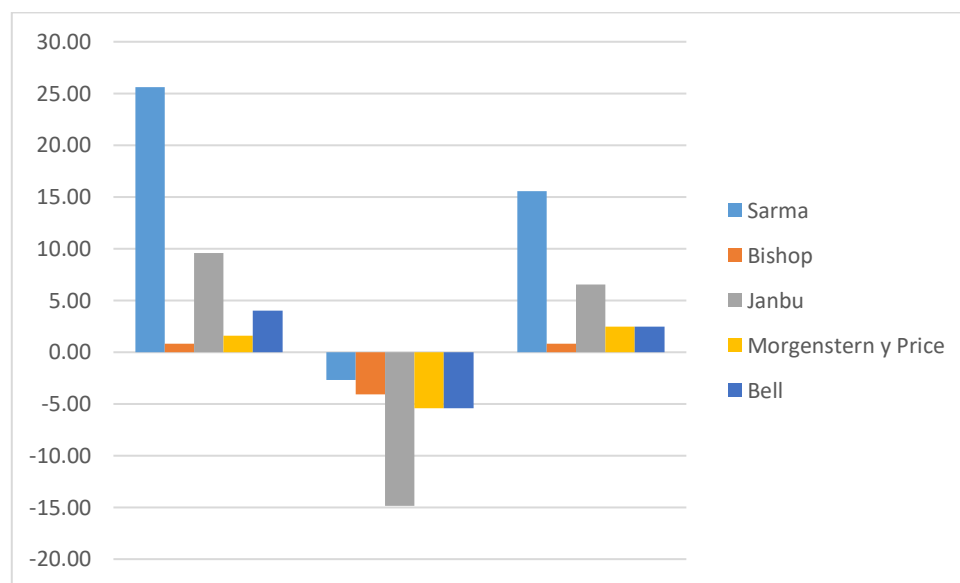
Método	Superficie	Consideraciones	Ventajas	Limitaciones	Aplicación	FS
Bishop simplificado (1955)	Circular	Considera un equilibrio de fuerzas y momentos entre las dovelas. Resultante de fuerzas verticales entre dovelas es nula.	Método simple con cálculos manuales o en un computador. Resultados conservativos.	Método iterativo. Aplicación imprecisa para suelos estratificados.	Método muy usado en la práctica. Un método simplificado y recomendado para proyectos simples.	$F = \frac{1}{\sum W \cdot \sin \alpha} \sum \{ [c \cdot b + (W - u \cdot b) \tan \phi / m_\alpha] \}$ $m_\alpha = \cos \alpha \left[ 1 + \frac{\tan \alpha \cdot \tan \phi}{F} \right]$
Janbu (1972)	No circular	Satisface el equilibrio de momentos en cada dovela, sin embargo desprecia las fuerzas verticales entre dovelas.	Superficie de rotura realística. Implementación simple en computadores.	Aplicado para suelos homogéneos. Puede subestimar un factor de seguridad. El método generalizado no tiene esta limitación.	Gran utilización práctica. Deben ser consideradas las limitaciones de las rutinas de cálculo.	$F.S. = \frac{f_o \sum \left\{ [c \cdot b + (W - ub) \tan \phi] \frac{1}{\cos \alpha \cdot ma} \right\}}{\sum (W \tan \alpha)}$ $ma = \cos \alpha \left( 1 + \frac{\tan \alpha \cdot \tan \phi}{F.S.} \right)$
Morgenstern y Price (1965)	No circular	Satisface todas las condiciones de equilibrio estático. Resuelve el equilibrio general del sistema. Es un método riguroso.	Consideraciones más precisas que el método de Janbu.	No es un método simple. Exige cálculos en el ordenador.	Para estudios o análisis detallados (retroanálisis)	Calculado por interacciones, con el uso de ordenadores
Sarma (1973, 1979)	No Circular	Método riguroso, atiende las condiciones de equilibrio. Considera fuerzas sísmicas (terremotos).	Reducción en el tiempo de cálculo sin pérdida de precisión.	Método exige cálculos en ordenador. El método de Sarma (1973) puede ser resuelto manualmente.	Es aplicado como alternativa al método de Morgenstern y Price.	Calculado por interacciones, con el uso de ordenadores

Fuente: Recuperado de (Morales Muñoz, 2012).

Si bien todos los métodos previamente presentados son válidos para el correcto análisis de estabilidad de un talud, se realizó una comparación cuantitativa entre todos los métodos con el fin de conocer cuál es el que se acerca más a la respuesta dada por un programa que utiliza un modelo matemático por elementos finitos, que, si bien es un método aproximado, es el que más se acerca a una respuesta real.

Para cumplir este objetivo se utilizó el programa GEO5 en su módulo MEF (Método de Elementos Finitos), en su versión 2018 de prueba.

Se modelaron 3 taludes con características del suelo conocidas y diferentes configuraciones geométricas con lo que se obtuvieron los resultados que se muestran en la figura 5.



*Figura 5. Comparación entre métodos clásicos y MEF.*

Fuente: Elaborado por Diego Mesías.

En el gráfico se presenta el porcentaje de error, sea de forma conservadora o no, con respecto a los resultados arrojados por el método de elementos finitos con el programa GEO 5, que se asumirán como correctos y por lo tanto con 0% de error.

Se puede observar que dependiendo del caso siempre existe un error con respecto al método de elementos finitos, que crece o decrece dependiendo de las características del suelo usadas para la modelación y de las propias limitaciones de los métodos usados.

De esto se puede ver claramente que el método que más se apega a los resultados por elementos finitos es el método de Bishop seguido por Morgenstern & Price. Por lo que para la validación por un método manual se utilizará el método de Bishop por su simplicidad para ser programado y por sus buenos resultados.

Además, los métodos de Morgenstern & Price y Bell no permiten realizar un análisis pseudo estático para incluir al sismo. Por lo que no podemos usarlos para nuestros fines concretos.

Se podría usar siempre el método de elementos finitos, ya que sus resultados son los más realistas, pero presenta mucha más complejidad a la hora de realizar el modelo, además de necesitar mucha capacidad de cálculo y muchos más datos a ser ingresados, por lo que la simplicidad de los métodos clásicos resulta conveniente.

## 2.5. Factores de seguridad

Un talud se considera inestable cuando presenta un factor de seguridad menor a uno, aunque al existir ambigüedad en el valor definido como factor de seguridad admisible este dependerá de las consecuencias de una eventual ruptura, en términos de pérdidas humanas y/o económicas (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2013).

Factor de riesgo		Pérdidas de vidas humanas		
		Despreciable	Medio	Elevado
Pérdidas económicas	Despreciable	1.1	1.2	1.4
	Medio	1.2	1.3	1.4
	Elevado	1.4	1.4	1.5

*Figura 6.* Recomendaciones para factores de seguridad.  
Fuente: Recuperado de Volumen 2B. (MTOP, 2013).

La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 2015) plantea factores de seguridad en función de las cargas actuantes en el mismo (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015).

Condición **	Fscorte Mínimo	
	Diseño	Construcción
Carga Muerta+Carga Viva Nominal	1.5	1.25
Carga Muerta+ Carga Viva Máxima	1.25	1.1
Carga Muerta+ Carga Viva Nominal + Sismo de diseño Pseudo estático	1.1	1.00 *
Taludes - condición estática y Agua Subterranea Normal	1.5	1.25
Taludes - condición pseudo estática con agua Subterranea Normal y Coeficiente Sísmico de diseño	1.05	1.00 *

Figura 7. Factores de seguridad por corte mínimos.

Fuente: Recuperado de NEC-SE-GC. (MIDUVI, 2015).

La FHWA sugiere el uso de los factores de seguridad mínimos recomendados que se presentan en la Figura 8. (U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, 2015).

MODO DE FALLA	COMPONENTES DE RESISTENCIA	SÍMBOLO	FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS RECOMENDADOS		
			CARGAS ESTÁTICAS		CARGAS SÍSMICAS*
			ESTRUCTURA TEMPORAL	ESTRUCTURA PERMANENTE	
Estabilidad externa	Estabilidad global	FS <sub>G</sub>	1.35	1.5	1.1
	Deslizamiento	FS <sub>SL</sub>	1.3	1.5	1.1
	Capacidad portante	FS <sub>H</sub>	2.5	3	2.3
Estabilidad interna	Resistencia al arrancamiento	FS <sub>P</sub>	2		1.5
	Resistencia a la tensión de la barra de anclaje	FS <sub>T</sub>	1.8		1.35
Resistencia del revestimiento	Flexión del revestimiento	FS <sub>FF</sub>	1.35	1.5	1.1
	Corte por punzonamiento	FS <sub>FP</sub>	1.35	1.5	1.1

Figura 8. Factores de seguridad mínimos recomendados.

Fuente: Recuperado de (FHWA, 2015).

Los valores escogidos para la comprobación de estabilidad del talud serán los correspondientes a la Figura 8. Siendo esta tabla la más completa ya que contempla todos los factores de seguridad a ser cubiertos por el talud estabilizado.

Ya que el lugar donde se encuentra el talud es un sitio con un alto riesgo sísmico, se realizará, aparte del análisis estático, un análisis pseudo estático para poder contemplar los efectos del sismo sobre el talud.

Según (FHWA, 2015) se pueden determinar los valores de coeficientes sísmicos de la siguiente manera.

$$A_m = (1.45 - Z)Z \quad (1)$$

Donde:

$Z$  = Coeficiente de aceleración máxima por zona

$A_m$  = Fracción de aceleración horizontal normalizada

$$k_h = 0.5A_m - k_h = 0.67A_m \quad (2)$$

$$k_v = 0.3k_h \quad (3)$$

Donde:

$K_h$  = Coeficiente sísmico horizontal, se debe estimar un factor entre 0.5 y 0.67, el más utilizado es 0.6 (Montenegro Procel y Tipán Guallasamín, 2016, p.64).

### 3. Caracterización de la zona de estudio

#### 3.1. Ubicación.

El talud se encuentra ubicado en el kilómetro 24 de la vía Colibrí-Pifo justo al frente de un giro en U permitido como se muestra en la Figura 9 y Figura 10.



*Figura 9.* Giro en U permitido.  
Fuente: Elaborado por Diego Mesías.



*Figura 10.* Ubicación de talud estudiado.  
Fuente: (Google Earth, 2018).

El lugar en el cual se realizó la presente investigación se encuentra a aproximadamente 15 minutos del redondel del Colibrí ubicado en el Valle de los Chillos en dirección hacia Pifo y a 500 metros de la Planta Industrial IMPTEK.

#### 3.2. Factores Climáticos.

Son las condiciones externas que pueden afectar a la estabilidad del talud. No se pueden controlar como tales, pero se pueden controlar los efectos que provocan sobre el talud.





desde Brisas suaves hasta Vientos refrescantes, lo cual es un factor determinante a tomar en cuenta a la hora de realizar la estabilización del talud.

### 3.2.3. Temperatura.

Para poder determinar la influencia de la temperatura en el talud se realizó un mapa de Isotermas que se en la Figura 12.

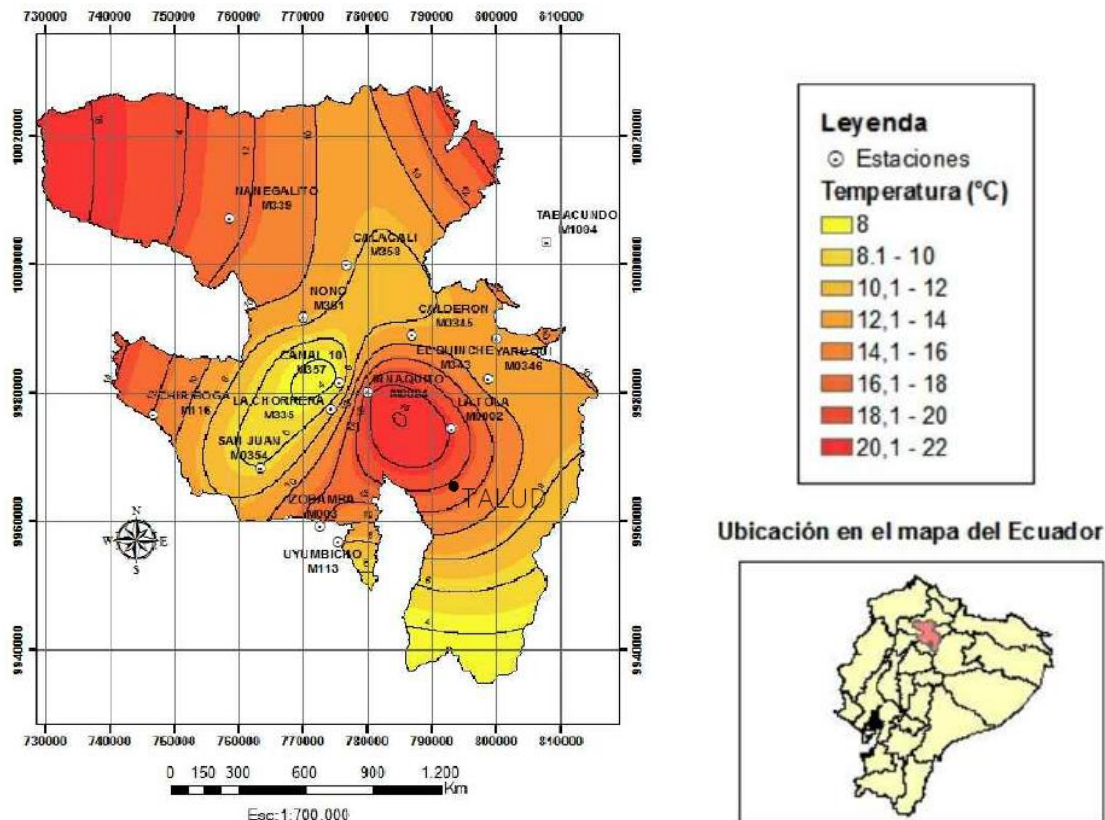


Figura 12. Mapa de Isotermas.

Fuente: Elaborado por (Nicole Recalde, 2016).

Se puede observar que en la zona de estudio hay presencia de temperaturas que oscilan entre los 16.1°C y los 18°C e incluso acercándose a los 20°C lo que explicaría la erosión del talud conjuntamente con la acción del viento y las pocas lluvias.

### 3.3. Peligro sísmico.

“Probabilidad de excedencia, dentro de un período específico de tiempo y dentro de una región determinada, de movimientos del suelo cuyos parámetros aceleración, velocidad, desplazamiento, magnitud o intensidad son cuantificados” (MIDUVI, 2015).



Rigiéndonos a la NEC 15 determinamos que por la ubicación del talud se encuentra en la zona IV por lo que el valor del coeficiente de aceleración sísmica es  $Z=0.40$  lo que podemos observar en el mapa de zonificación sísmica presente en el capítulo NEC-SE-DS y para un periodo de retorno de 475 años.

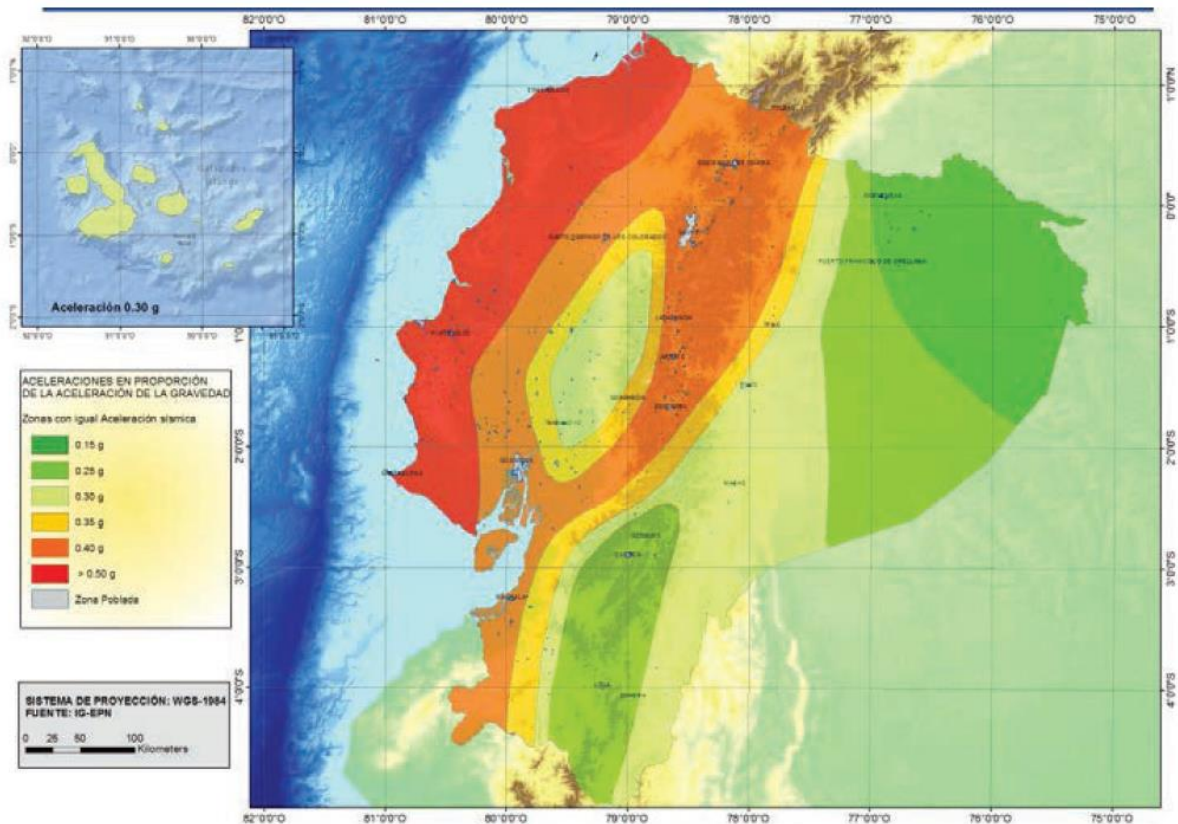


Figura 13. Mapa de zonificación sísmica.

Fuente: Recuperado de Norma Ecuatoriana de la Construcción (MIDUVI, 2015).

Conociendo el dato de coeficiente de aceleración sísmica podemos obtener el coeficiente sísmico horizontal y vertical aplicando las ecuaciones (1), (2) y (3).

$$A_m = (1.45 - Z)Z \quad (1)$$

$$A_m = (1.45 - 0.40) \cdot 0.40$$

$$A_m = 0.42$$

$$k_h = 0.6 \cdot A_m \quad (2)$$

$$k_h = 0.6 \cdot 0.42 = \mathbf{0.252g}$$

$$k_v = 0.3 \cdot k_h \quad (3)$$

$$k_v = 0.3 \cdot 0.252 = \mathbf{0.076g}$$

A continuación, se presenta el resumen de los coeficientes sísmico obtenidos.

Coeficiente sísmico horizontal:  $k_h = 0.252g$

Coeficiente sísmico vertical:  $k_v = 0.076g$

Estos datos se usarán para realizar las modelaciones necesarias para obtener el diseño definitivo del talud estabilizado.

### 3.4. Estudios geotécnicos.

#### 3.4.1. Ensayos de campo.

Se realizó una perforación para obtener las muestras necesarias para la caracterización del suelo, la misma que se realizó en las coordenadas que se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3  
*Coordenadas de perforación.*

PERFORACIÓN	NORTE (m)	ESTE (m)	COTA (m.s.n.m.)
P1	9965289.626	793215.926	2663.693

Fuente: Elaborado por Diego Mesías.

La perforación fue realizada con un ensayo de penetración estándar (ASTM D-1586) de la cual se obtuvieron muestras cada metro de profundidad. Del material extraído se realizó una clasificación manual-visual la cual dio los resultados presentados en la Tabla 4.

Tabla 4  
Resultados clasificación manual-visual.

PROFUNDIDAD (m)	DESCRIPCIÓN
1	Limo arenoso color café, poco húmedo.
2	Limo arenoso color café, poco húmedo.
3	Limo arenoso color café, poco húmedo.
4	Limo arenoso color café con manchas blancas.
5	Limo arenoso color café con oxidaciones.
6	Limo arenoso color café con oxidaciones.
7	Limo arenoso color café con oxidaciones.
8	Limo arenoso color café con manchas negras.
9	Limo arenoso color café con manchas negras.
10	Arena limosa color blanca con manchas negras.
11	Arena limosa color blanca con manchas negras.
12	Arena limosa color blanca con manchas negras.

Fuente: Elaborado por Diego Mesías.

Al ver que se tenía únicamente dos estratos se procedió a sacar dos bloques inalterados para obtener los parámetros de ángulo de fricción y cohesión.

#### **3.4.2. Ensayos de laboratorio.**

Con el material obtenido en campo se procedió a realizar los trabajos en laboratorio que consisten en humedad natural, clasificación SUCS, ensayos triaxiales UU y corte directo.

Al realizar la humedad natural se pudo determinar que el suelo tiene una humedad del 23.48% y no presenta nivel freático por lo que el agua no será un problema a la hora de estabilizar el talud.

Se pudo determinar que el talud presenta dos estratos claramente marcados y clasificados mediante SUCS. El primer estrato o superior es un ML, es decir limos inorgánicos de baja plasticidad lo que corresponde a un estrato semi impermeable (Das, 2001). El segundo estrato o inferior es un SP, es decir arenas mal graduadas con pocos finos lo que corresponde a un estrato permeable (Das, 2001).

Para obtener los datos para poder modelar el talud se realizó un ensayo triaxial UU (ASTM D-2850) en el estrato superior y un ensayo de corte directo (ASTM D-3080) en el estrato inferior por tratarse de una arena, la cual resultó imposible de tallar. De estos ensayos se obtuvieron los datos de ángulo de fricción y cohesión que se muestran en la Figura 14 y 15.

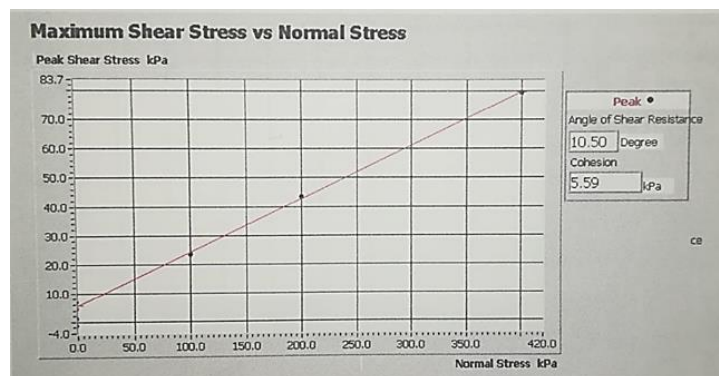


Figura 14. Estrato superior.

Fuente: Laboratorio de suelos Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE, 2017).

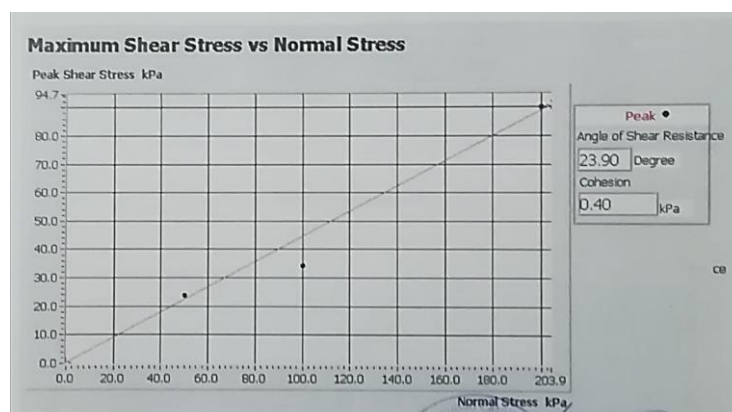


Figura 15. Estrato inferior.

Fuente: Laboratorio de suelos Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE, 2017).

### 3.5. Coeficiente activo.

Se calcularon los coeficientes activos con 3 teorías diferentes, se usará un coeficiente diferente dependiendo del caso, buscando siempre los esfuerzos máximos en la estructura.

#### 3.5.1. Teoría de Rankine.

No toma en cuenta el ángulo de fricción suelo-estructura, solo toma en cuenta el ángulo de fricción del suelo (Das, 2001).

$$K_A = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \quad (4)$$

$$K_A = 0.6917$$

#### 3.5.2. Teoría de Coulomb.

Se toma en cuenta el rozamiento entre el suelo y la estructura, este ángulo es igual a la mitad del ángulo de fricción interna del suelo (Das, 2001).

$$K_A = \frac{\cos^2(\phi - \theta)}{\cos^2 \phi \cos(\delta + \theta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \phi) \sin(\phi - \alpha)}{\cos(\delta + \phi) \cos(\phi - \alpha)}} \right]^2} \quad (5)$$

$$K_A = 0.6652$$

#### 3.5.3. Teoría de Mononobe-Okabe.

Esta teoría toma en cuenta los coeficientes sísmicos en el empuje activo del muro (Das, 2001).

$$K_{AE} = \frac{\cos^2(\phi - \psi)}{\cos \psi \cos^2 \phi \cos(\delta + \psi) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \phi) \sin(\phi - \psi)}{\cos(\delta + \phi + \psi) \cos(\phi)}} \right]^2} \quad (6)$$

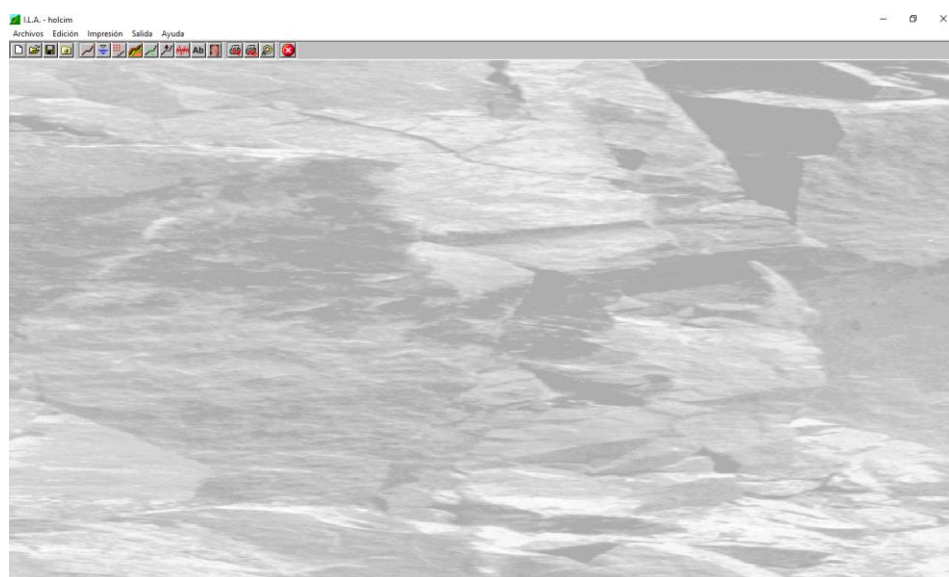
$$\psi = \tan^{-1} \left[ \frac{k_h}{1 - k_v} \right] \quad (7)$$

$$K_{AE} = 0.704$$

#### 4. Introducción a Geo&Soft (I.L.A.)

El módulo I.L.A. (Interactive Landslides Analysis) se usa para la verificación de la estabilidad de pendientes y proyección de obras de contención utilizando métodos clásicos.

Si bien su uso es bastante intuitivo, su interfaz no es muy amigable, por lo que el usuario podría perderse al inicio hasta poder comprender mejor su utilización. Además, cuenta con ciertas limitaciones en sus métodos de análisis, por ejemplo, no se puede analizar obras de contención con un método diferente a Sarma y el análisis pseudo estático no se puede realizar con el método Morgenstern y Price.



*Figura 16.* Pantalla de inicio programa Geo&Soft (I.L.A.).

Fuente: Elaborado por Diego Mesías.

Como se mencionó anteriormente su interfaz no es muy amigable ya que no se puede visualizar el talud a medida que se lo va dibujando. Solo se puede visualizar el mismo una vez que se corre el análisis.

El método propuesto por Sarma y desarrollado por Hoek es el que presenta mayor estabilidad numérica según Geo&Soft pero sus resultados se alejan considerablemente en la mayoría de los casos de los resultados obtenidos con métodos de elementos finitos, siendo estos considerados los más cercanos a la realidad.

Otra de las limitaciones del programa es que únicamente permite el análisis de una obra de contención, correspondiente a un único anclaje a lo largo de la pendiente lo cual limita nuestras opciones de estabilización utilizando este programa a tres opciones: reconformación geométrica, estructura anclada y una combinación entre las dos opciones antes mencionadas.

El programa realiza el dibujo del talud a través de coordenadas que corresponden a una distancia progresiva y a una cota, siendo esta la única forma de dibujar el mismo.

EDICION DEL PERFIL DEL TERRENO

Punto	Dist. Progresiva [m]	Cota [m]
1	0	0
2	3.68	-.09
3	4.55	-.35
4	5.41	-.04
5	6.19	1.24
6	9.75	7.15
7	11.82	10.53
8	14.82	11.42
9	19.26	11.65
10	20.49	11.71
11	21.35	11.85
12	22.33	11.68
13	23.25	11.6
14	25.31	11.43
15		

Distancia progresiva (abscisa en metros de un origen arbitrario) de los nudos de la línea discontinua que representa el perfil del terreno.

Aceptar Cancelar Insertar Eliminar Ayuda

Figura 17. Cuadro para editar el perfil del terreno.  
Fuente: Elaborado por Diego Mesías.

De la misma manera se realiza el dibujo de las discontinuidades correspondientes a todos los posibles estratos que se puedan encontrar en el talud.

EDICION DE LA SUPERFICIE DE DISCONTINUIDAD n. 1

Punto	Dist. Progresiva [m]	Cota [m]
1	0	0
2	3.68	-.09
3	4.55	-.35
4	5.41	-.04
5	6.19	1.24
6	15.15	2.03
7	20.56	2.41
8	25.31	2.64
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		

Distancia progresiva (abscisa en metros desde el origen arbitrario usada para el perfil del terreno) de los nudos de la línea discontinua que representa la discontinuidad.

Aceptar Cancelar Insertar Eliminar Ayuda

Figura 18. Cuadro para editar la superficie de discontinuidad.  
Fuente: Elaborado por Diego Mesías.

Para completar el modelo a ser analizado se deben introducir los valores correspondientes a los coeficientes pseudo estáticos que se calcularon previamente con las ecuaciones (1), (2) y (3) como se muestra en la Figura 19.

Figura 19. Cuadro de ingreso de coeficientes sísmicos.  
Fuente: Elaborado por Diego Mesías.

Para el análisis se usarán superficies circulares por dos puntos, que corresponde a un posible círculo de falla.

Tabla 5  
*Superficies circulares de falla.*

	Centro		Radio
	X (m)	Y (m)	(m)
<b>Modelo 1</b>	6.17	9.57	15.00
<b>Modelo 2</b>	9.30	15.04	15.00
<b>Modelo 3</b>	6.40	18.35	15.00
<b>Modelo 4</b>	4.25	13.33	10.00
<b>Modelo 5</b>	8.38	14.85	10.00

Fuente: Elaborado por Diego Mesías.



## **5. Medidas de estabilización**

### **5.1. Reconformación geométrica.**

Consiste en alterar la geometría del talud con la finalidad de disminuir el peso de la masa deslizante, con la formación de bermas en la parte alta del talud.

Algunas de las acciones más frecuentes son:

- Disminuir la inclinación del talud.
- Eliminar peso de la cabecera del talud.
- Incrementar el peso en el pie del talud.
- Escalonar el talud.

(Gonzales de Vallejo et al., 2002, p.471)

Para el talud en análisis se tienen que descartar la opción de incrementar peso en el pie del talud porque no se cuenta con el espacio necesario para realizar dichas obras.

### **5.2. Muro claveteado.**

Las estructuras ancladas son sistemas de estabilización en los cuales se usa elementos resistentes (barras de acero, torones, barras auto perforantes) mismas que están separadas simétricamente y que mejoran la resistencia del talud al ser introducidos en este (Montenegro Procel y Tipán Guallasamín, 2016).

Las estructuras ancladas son un método de estabilización que utiliza refuerzos inyectados en una perforación produciendo un anclaje pasivo o activo, produciendo una estructura de suelo reforzado (muro claveteado) o sosteniendo la masa de suelo (muro anclado). Generalmente se usa un clavo o nail cada 6m<sup>2</sup>, pudiendo tener una cabeza roscada o simplemente doblada en el caso de muros claveteados (Suarez, 2009).

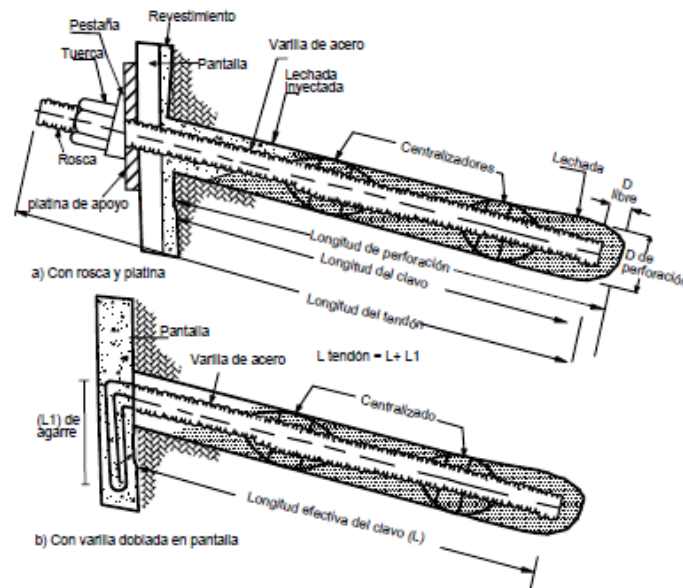


Figura 20. Esquema de Nails o Clavos.  
Fuente: Recuperado de (Suarez, 2009).

Estas estructuras se comportan bien ante sismos, aunque su comportamiento dinámico es desconocido, pero su flexibilidad colabora en su comportamiento sísmico (Suarez, 2009).

Los muros claveteados se presentan como estructuras económicas ya que son menos costosos que los torones o cables para realizar muros anclados postensados, requieren profundidades menores que estos, y permiten realizar excavaciones de arriba hacia abajo (Suarez, 2009).

### **5.2.1. Aplicaciones de los muros claveteados.**

Los clavos son muy utilizados en estabilización de taludes, estribos de puentes, estructuras provisionales para la reparación de otras estructuras, excavaciones semiverticales y como estructuras de contención para la protección de cimientos sobre taludes (Suarez, 2009).

### **5.2.2. Deformaciones.**

Se ha observado que los muros claveteados se deforman más en la parte superior de este, generándose un desplazamiento similar a un volteo (Suarez, 2009).

### 5.2.3. Resistencia ante sismos.

Los muros claveteados se comportan muy bien ante sismos por su gran flexibilidad, lo cual se confirmó en California en el sismo de Loma Prieta de magnitud 7.5 en el cual soportó hasta 150% de su carga de diseño (Folio, Vucetic, Hudson, Barar y Chapman, 1990).

### 5.2.4. Elementos de un muro claveteado.

En la Figura 21 se muestran los componentes principales de un muro claveteado.

ELEMENTO	COMPONENTE	DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIONES
ELEMENTO RESISTENTE O ANCLAJE	Barra de anclaje	Elemento estructural que transmite esfuerzos de tracción.	Bajo normas ASTM. Se puede utilizar varillas corrugadas comunes $f_y = 420$ MPa. Existen nuevas tecnologías en cuanto a anclajes, se ajustan a condiciones particulares de cada proyecto.*
	Placa de apoyo	Permite distribuir las cargas de tensión hacia la pared de revestimiento.	Acero templado, resistencia mínima $f_y = 250$ MPa (ASTM A-36). Dimensiones mínimas 20x20x2.5 cm.
	Tuerca de sujeción	Elemento estructural que sirve de nexo entre el anclaje y la pantalla de revestimiento.	Material similar a la placa de apoyo con protección contra la corrosión.
	Arandela de apoyo	Permite direccionar la tensión paralela a la tuerca de sujeción.	Material similar a la placa de apoyo.
	Centralizadores	Elemento que impide que la barra de anclaje no haga contacto con el suelo. Son utilizados para asegurar un espesor mínimo de lechada que recubre a la barra de anclaje.	Elemento de PVC. Separación mínima: 2.50m a lo largo de la barra de anclaje y 0.50m desde los extremos.
MURO O PARED DE REVESTIMIENTO	Revestimiento	Estructura de soporte y protección contra agentes erosivos. Estructuras más utilizadas son las pantallas de hormigón proyectado.	Cuando se emplea hormigón proyectado la resistencia mínima a la compresión debe ser de al menos 28 MPa considerando un espesor mínimo de 5cm.
	Refuerzo	Elemento de refuerzo que aporta ductilidad al revestimiento.	Se emplean mallas electro soldadas y bastones alrededor del anclaje, resistencia mínima a la tracción $f_y = 420$ MPa
ZONA DE ANCLAJE	Lechada de cemento - arena (Grout)	Elemento que permite la interacción entre la barra de anclaje y el suelo circundante al mismo.	Resistencia mínima de 21 MPa a los 28 días, para esto es común utilizar morteros agua-cemento-arena en dosificación 1-2-1. Cemento según norma ASTM C150, el agua debe estar libre de sustancias que alteren la resistencia del mortero y la arena libre de sustancias orgánicas.

Figura 21. Elementos de muro claveteado.

Fuente: Elaborado por (Montenegro Procel y Tipán Guallasamín, 2016).

#### 5.2.4.1. Perforación.

Existen muchos sistemas disponibles de perforación incluyendo rotación, percusión y roto-percusión. La selección depende del tipo de equipo disponible en el lugar. Los diámetros pueden ir entre 4 a 12 pulgadas (10 a 30 centímetros). La inclinación de la perforación varía entre 10 a 20 grados. Los espaciamientos varían entre 1 y 3 metros. (Suarez, 2009).

#### 5.2.4.2. Acero de refuerzo.

El principal componente de un clavo es la varilla de acero, misma que se coloca en la perforación pre-excavada para luego ser inyectada. Las varillas generalmente son de resistencia a la tensión entre 420 y 520 MPa, de diámetros entre 18 y 32 milímetros (Suarez,

2009). La longitud depende de la disponibilidad de en cada lugar siendo generalmente 12 metros.

#### *5.2.4.3. Lechada.*

La lechada transfiere el esfuerzo del suelo al refuerzo, se utiliza una relación agua/cemento entre 0.4 y 0.5. No se recomienda el uso de aditivos a menos que sea totalmente necesario como en el caso de plastificadores en climas cálidos. Se recomienda colocar la lechada inmediatamente después de realizada la perforación y colocada la varilla para evitar que el hueco se cierre (Suarez, 2009).

#### *5.2.4.4. Pantalla superficial.*

Es una placa de concreto reforzado que se construye generalmente con hormigón lanzado, se conecta a las cabezas de los clavos y transmite los esfuerzos de la masa de suelo a los mismos, misma que usualmente se proyecta con una relación agua/cemento de 0.4 aproximadamente. El espesor de la pantalla puede ir desde los 15 a los 30 centímetros (Suarez, 2009).

#### **5.2.5. Ensayos de carga.**

Se realizan con objeto de comprobar la correcta construcción del clavo. Se sugiere ensayar el 5% de la totalidad de los clavos (FHWA, 2015).

El ensayo se lo realiza con un gato hidráulico, nunca se deberá esforzar al clavo a más del 80% de la resistencia de fluencia de la varilla. Se debe aplicar hasta el 120% de la carga de diseño (Suarez, 2009).

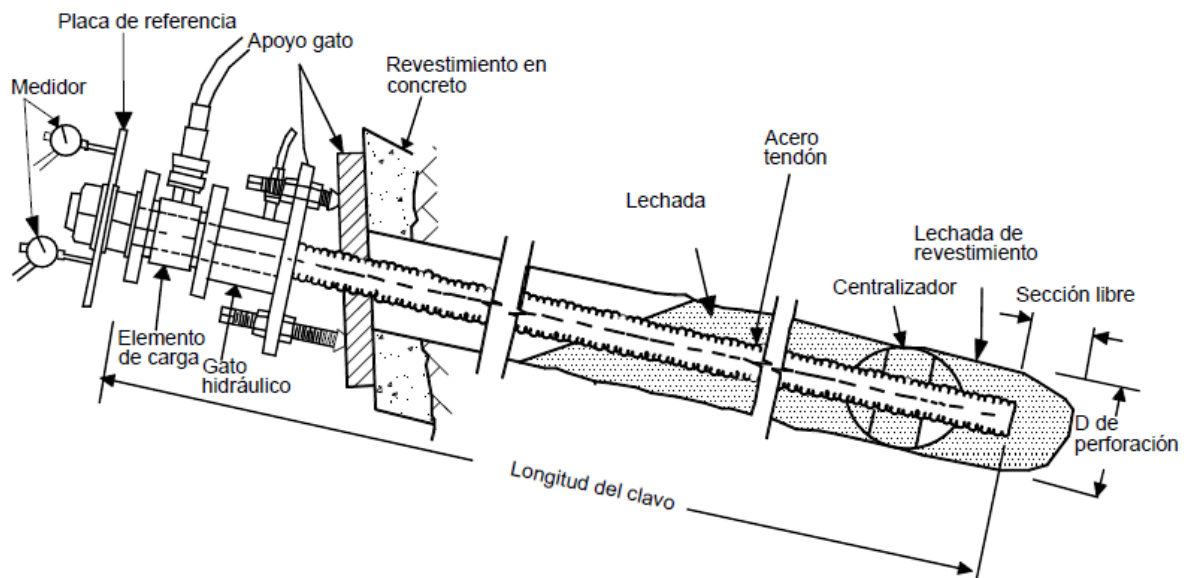


Figura 22. Esquema de un ensayo de carga de un clavo.  
Fuente: Recuperado de (Suarez, 2009).

### 5.2.6. Cargas.

Las cargas en cada clavo dependen de las superficies potenciales de falla, por lo que para determinarlas se utiliza un programa geotécnico. Para la presente investigación se utilizaron 2 programas geotécnicos, pero solo el programa GEO5 2018 tiene un módulo para el análisis y diseño de muros claveteados y del cual se obtendrán los datos necesarios para el diseño final.

### 5.3. Muro anclado.

Los muros anclados pueden ser estructuras de semigravedad o pantallas, que se sostienen mediante anclas postensadas. Pueden instalarse en superficies no uniformes con facilidad, aunque son poco atractivas visualmente y al no tener rigidez entre una y otra ancla se puede dar una falla gradual de las anclas (Suarez, 2009).

Al no ser elementos de contención pasivo se tiene la ventaja de que la carga de postensado se opone al deslizamiento ayudando a la estabilidad, además al comprimir el suelo se incrementa la resistencia a cortante (Suarez, 2009).

### ***5.3.1. Consideraciones para la construcción.***

Existen varias consideraciones a tener en cuenta a la hora de construir muros anclados, se recomienda usar equipos apropiados para el trabajo, no utilizar aditivos en la lechada, evitar agentes expansores y químicos con cloruros, evitar la pérdida de lechada en el tendón y tener en cuenta la posible afectación producida por la estructura anclada a las estructuras cercanas (Suarez, 2009).

### ***5.3.2. Elementos de un muro anclado.***

El proceso constructivo determina el comportamiento del ancla, las variaciones en el proceso de perforación e inyección afectan significativamente al rendimiento del mismo (Schnabel, 1982).

#### ***5.3.2.1. Perforación.***

Se debe realizar la perforación garantizando que la superficie sea rugosa entre el suelo y el cementante a todo lo largo del bulbo, asegurando un correcto alineamiento y ángulo de inclinación, el anclaje debe colocarse lo más pronto posible después de terminada la perforación y nunca en un lapso superior a 24 horas (Suarez, 2009).

El diámetro de la perforación depende de la disponibilidad de equipos, y debe ser suficiente para que el perno ingrese sin necesidad de forzarlo, un hueco mayor no mejora el diseño y puede generar costos innecesarios (Suarez, 2009).

#### ***5.3.2.2. Inyección.***

La mezcla de la lechada consiste en una relación agua/cemento que varía entre 0.4 y 0.55 con resistencias desde 21 MPa, el mortero no debe tensarse hasta que termine el proceso de fraguado (Suarez, 2009).

#### *5.3.2.3. Tendones.*

Se pueden usar cables conformados de 7 hilos con resistencia a la tensión última de 1.86 Mpa, la ventaja de estos es que pueden cortarse a la longitud deseada. También pueden usarse varillas de alta resistencia con resistencia última a la tensión de 1.03 MPa y diámetros entre 1.0 a 2.5 pulgadas con una capacidad de carga máxima de 620 KN con longitudes de 6,9,12,15 y 18 metros, o en su defecto anclas especiales que son conformadas por varillas de grado 60 o 75, anclas helicoidales y anclas metálicas especiales (Suarez, 2009).

#### *5.3.2.4. Ensayos de carga*

Se ensaya cada ancla hasta alcanzar un valor de 1.5 la carga de diseño, ya que toda ancla debe diseñarse para un factor mínimo de seguridad de 2.0 (Suarez, 2009, p.158).

#### *5.3.2.5. Longitud de las anclas.*

No es recomendable usar anclajes menores a 9 metros, tomando en cuenta que la longitud del bulbo tiene que sobrepasar la superficie potencial de falla (FHWA, 2015).

Se recomienda una longitud libre entre el bulbo y la superficie de 3 metros para evitar la pérdida de cargas por relajación y fatiga de los elementos (Weatherby y Nicholson, 1982).

#### *5.3.2.6. Ángulo de inclinación.*

“La mayoría de los anclajes se instalan a ángulos con la horizontal entre 10° y 30°” (Suarez, 2009).

#### *5.3.2.7. Diámetro de perforaciones*

Se recomienda perforaciones de diámetro entre 3 y 6 pulgadas, no se recomienda diámetros menores a 3 pulgadas (Suarez, 2009).

#### *5.3.2.8. Bulbo de anclaje*

Un bulbo es la longitud de la varilla que es cementada y es la parte que transmite la tensión al suelo, se recomienda que sea mayor a 3.0 metros (Suarez, 2009, p.161).

**Tipo A.** Anclajes inyectados por gravedad. La inyección por gravedad se utiliza especialmente en taludes en roca sana o en suelos cohesivos duros. La resistencia depende de la unión entre la inyección y la roca.

**Tipo B.** Anclajes inyectados a presiones menores de 145 psi (1000 Kn/m<sup>2</sup>). El diámetro del bulbo se amplía cuando la lechada se infiltra en el suelo o las fisuras de la roca. Se utilizan en rocas fisuradas o suelos granulares gruesos. La resistencia depende del cortante lateral y capacidad de soporte del área superior del bulbo.

**Tipo C.** Anclajes inyectados a presiones de más de 2000 Kn/m<sup>2</sup>). El diámetro del bulbo aumenta por fractura hidráulica del suelo. Esta técnica se utiliza en suelos sin cohesión y en ocasiones en suelos cohesivos. Este es tal vez, el sistema de inyección más utilizado porque genera un bulbo de mayor tamaño en suelos.

**Tipo D.** En la perforación se forman una serie de campanas, las cuales se inyectan por gravedad.

(Suarez, 2009, p.162)



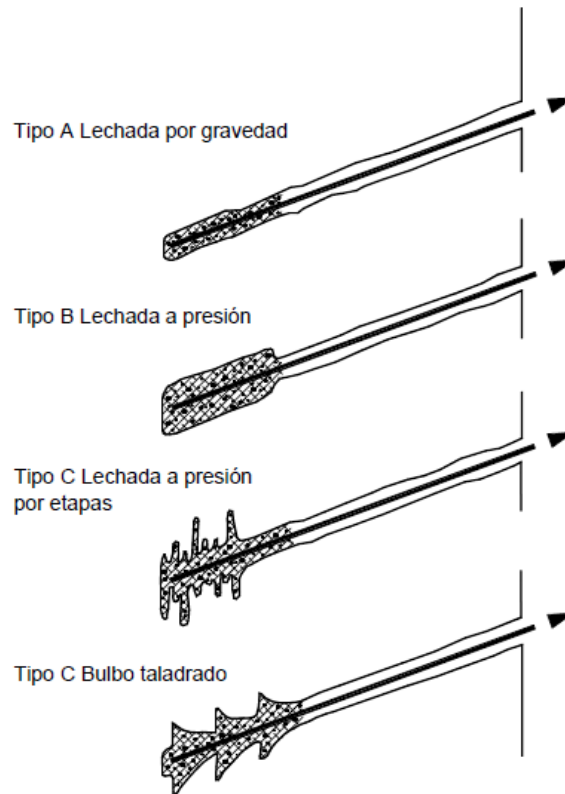


Figura 23. Clasificación de anclajes.  
Fuente: Recuperado de (Suarez, 2009).

#### 5.3.2.9. Presiones sobre estructuras ancladas.

Se recomienda utilizar los diagramas de Terzaghi y Peck para determinar las presiones sobre un muro anclado, con la finalidad de obtener las cargas en cada anclaje (FHWA, 2015).

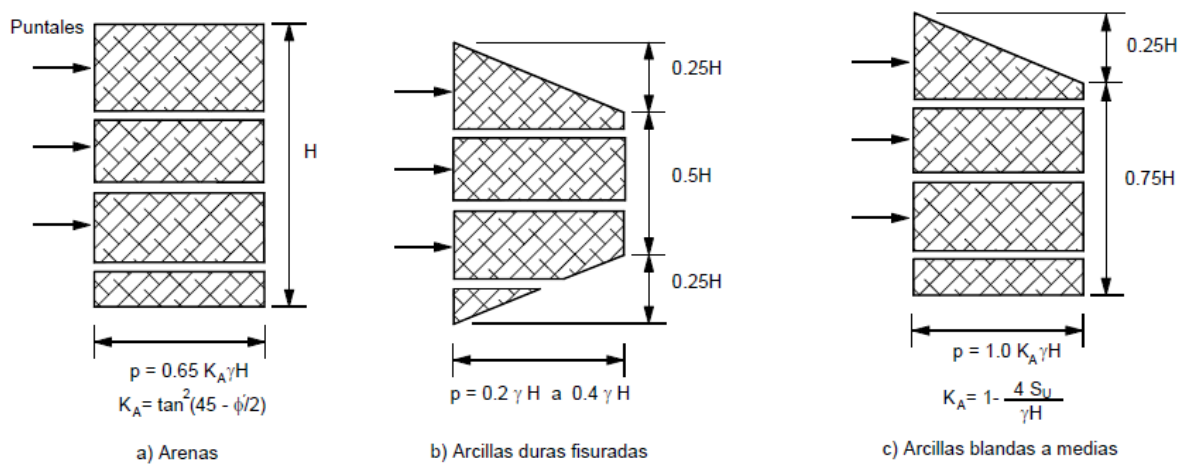


Figura 24. Diagrama de presiones de tierra Terzaghi y Peck.  
Fuente: Recuperado de (Suarez, 2009).

## **6. Análisis de alternativas**

Para el análisis de alternativas se usarán dos programas geotécnicos para validar la información. Se usará el programa Geo5 que ha sido probado ampliamente en el pasado para validar los datos arrojados por el programa Geo&Soft, además de ser usado como programa complementario ya que Geo&Soft no permite analizar las obras de contención propuestas como muro claveteado y muro anclado.

El análisis de estas dos alternativas se lo realizará usando íntegramente el programa Geo5, que como se mencionó anteriormente ha sido probado ampliamente en el pasado brindando resultados excelentes.

### **6.1. Estado actual.**

Con los datos obtenidos en el estudio geotécnico realizado en el talud, se modeló este en los programas Geo&Soft y Geo5, en su condición normal y bajo condiciones pseudo-estáticas.

La verificación del estado actual se realizará con el método Bishop (simplificado), ya que brinda una mayor exactitud en taludes que aún no fueron intervenidos según lo demostrado en la Figura 5.

Los factores de seguridad obtenidos se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6  
Factores de seguridad (estado actual).

Círculo	Geo&Soft		Geo5	
	Estático	Pseudo-estático	Estático	Pseudo-estático
1	0.69<1.50	0.58<1.10	0.89<1.50	0.62<1.10
2	0.98<1.50	0.69<1.10	1.06<1.50	0.71<1.10
3	0.86<1.50	0.58<1.10	0.67<1.50	0.47<1.10
4	0.64<1.50	0.56<1.10	0.68<1.50	0.56<1.10
5	0.88<1.50	0.59<1.10	0.75<1.50	0.54<1.10

Fuente: Elaborado por Diego Mesías.

El error promedio entre programas bajo condiciones estáticas es del 14.55% y bajo condiciones pseudo-estáticas es de 7.34%.

Dicho error se lo considera aceptable debido a que los programas utilizan distinto número de dovelas para determinar el factor de seguridad, entre más dovelas se tome más exacto es el resultado.

Con las alternativas propuestas se busca llegar a los factores mínimos de seguridad mostrados en la Figura 8.

## 6.2. Alternativa 1 (Reconformación geométrica).

### 6.2.1. Reconformación geométrica (Opción 1).

Se plantea disminuir el peso de la masa deslizante retirando suelo de la parte alta del talud, creando una berma de 2.75m para este propósito como se muestra en la Figura 25.

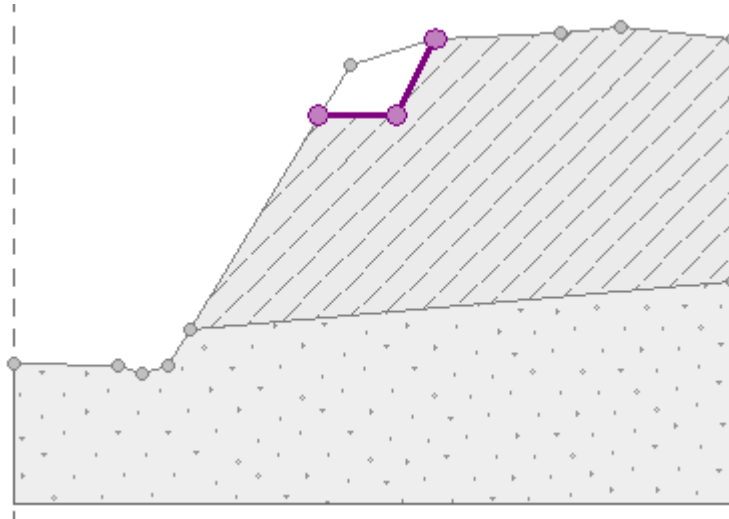


Figura 25. Reconformación geométrica (Opción 1). Geo5.

Fuente: Elaborado por Diego Mesías.

Los factores de seguridad obtenidos se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7

*Factores de seguridad (Reconformación geométrica opción 1).*

Círculo	Geo&Soft		Geo5	
	Estático	Pseudo-estático	Estático	Pseudo-estático
1	0.73	0.60	0.88	0.61
2	0.97	0.69	1.04	0.70
3	0.86	0.57	0.71	0.50
4	0.85	0.64	0.86	0.68
5	0.92	0.63	0.83	0.60

Fuente: Elaborado por Diego Mesías.

De la comparación de las Tablas 6 y 7 podemos decir que la opción de reconformación geométrica no ayuda en la estabilización del talud. Ya que los valores estáticos son menores a 1.5 y los pseudo-estáticos son menores a 1.1 como lo indica la Figura 8.

### 6.2.2. Reconformación geométrica (Opción 2).

Se plantea cambiar la inclinación del talud de  $57^\circ$  a  $45^\circ$  es decir conformar un talud 1:1, disminuyendo de esta manera el peso de la masa deslizante y aumentando la resistencia cortante.

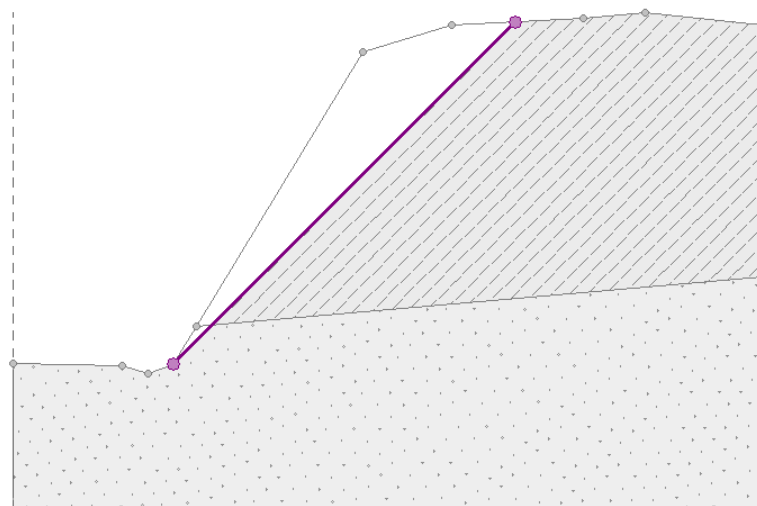


Figura 26. Reconformación geométrica (Opción 2).

Fuente: Elaborado por Diego Mesías.

Los factores de seguridad obtenidos se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8

*Factores de seguridad (Reconformación geométrica opción 2).*

Círculo	Geo&Soft		Geo5	
	Estático	Pseudo-estático	Estático	Pseudo-estático
1	0.76	0.64	0.80	0.56
2	0.85	0.64	0.89	0.61
3	0.75	0.55	0.74	0.55
4	-	-	-	-
5	0.92	0.67	0.96	0.75

Fuente: Elaborado por Diego Mesías.

### 6.3. Muro claveteado.

Como se mencionó anteriormente la comprobación se realizará con el programa Geo5, con dos métodos, Bishop y Morgenstern-Price.

Bishop es estable y fiable sin obras de contención, por lo que para validar los datos se usará también el método Morgenstern-Price que, si bien es más complicado matemáticamente, brinda resultados más fiables con obras de contención.

Se proyecta una pantalla de 12 cm y los datos para el modelo se muestran en la Figura 27.

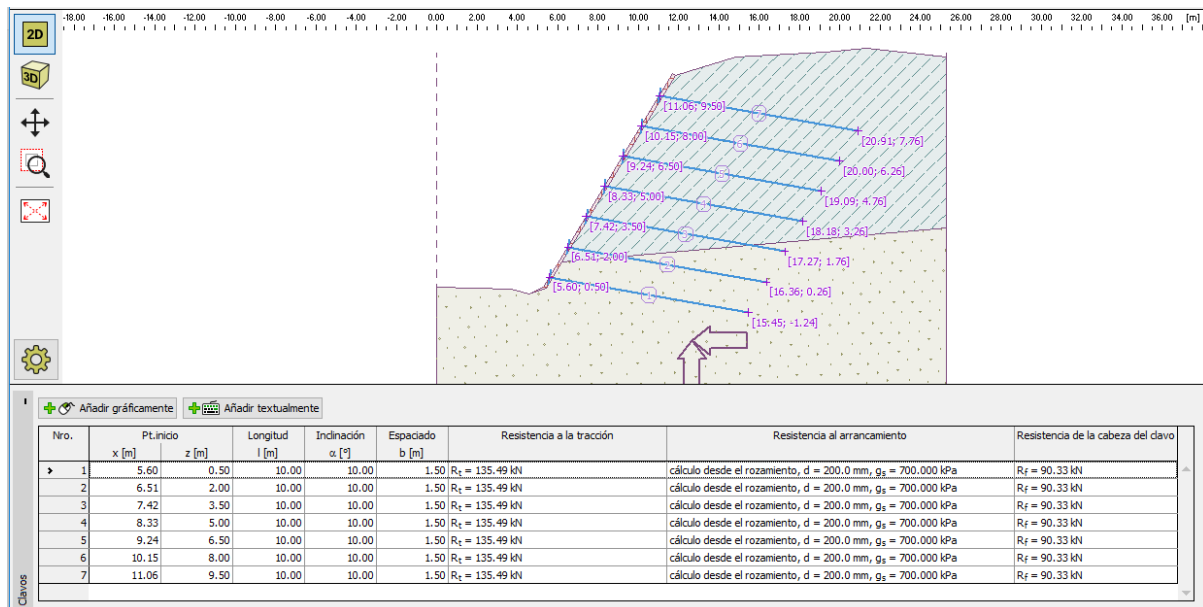


Figura 27. Ingreso de datos Muro claveteado.

Fuente: Elaborado por Diego Mesías.

Donde:

$$R_T = T_{max} = \lambda_1 * K_A * \gamma * H * S_H * S_V \quad (8)$$

$$\lambda_1 = 0.75, K_A = 0.6652, \gamma = 11.42 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3}, H = 10.57 \text{ m}, S_H = S_V = 1.5 \text{ m}$$

$$R_f = 0.5 * K_A * \gamma * H * S_H * S_V \quad (9)$$

$$K_A = 0.6652, \gamma = 11.42 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3}, H = 10.57 \text{ m}, S_H = S_V = 1.5 \text{ m}$$

$$g_s = q_{ult} = 700 \text{ KPa} \quad (\text{Figura 28})$$

Tipo de anclaje	q <sub>ult</sub> promedio	
	Mpa	kN/m <sup>2</sup>
<b>Anclajes inyectados a gravedad (en dirección al eje)</b>	0.7 - 0.14	700 - 1400
<b>Anclajes inyectados a presión (en dirección al eje)</b>		
Arena fina a media, medianamente densa a densa.	0.08 - 0.38	80 - 380
Arena medianamente gruesa (con grava), medianamente densa	0.11 - 0.66	110 - 660
Arena medianamente gruesa (con grava), densa a muy densa	0.25 - 0.97	250 - 970
Arenas limosas	0.17 - 0.41	170 - 410
Morrena glacial densa	0.30 - 0.52	300 - 520
Grava arenosa, medianamente densa a densa	0.21 - 1.38	210 - 380
Grava arenosa, densa a muy densa	0.28 - 1.38	280 - 380

Figura 28. Valores típicos de q<sub>ult</sub>.

Fuente: Recuperado de (FHWA, 2015).

El diámetro de la perforación es de 20 cm.

Los factores de seguridad obtenidos se muestran en la Tabla 9 y la evidencia de los resultados se muestra en el Anexo 1.

Tabla 9

*Factores de seguridad (Muro claveteado).*

Círculo	Bishop		Morgenstern-Price	
	Estático	Pseudo-estático	Estático	Pseudo-estático
1	1.62>1.50	1.23>1.10	1.64>1.50	1.26>1.10
2	3.41>1.50	2.52>1.10	3.46>1.50	2.58>1.10
3	6.33>1.50	4.87>1.10	6.33>1.50	4.86>1.10
4	17.45>1.50	15.46>1.10	17.82>1.50	15.84>1.10
5	10.79>1.50	8.46>1.10	10.78>1.50	8.44>1.10

Fuente: Elaborado por Diego Mesías.

Como los factores de seguridad son mayores a los mínimos recomendados para estabilidad global, entonces se procederá a realizar el diseño final.

## 6.4. Muro anclado.

Se proyecta un muro anclado con una pantalla de 12 centímetros, 2 anclajes inferiores de 10 metros y 4 anclajes superiores de 12 metros, separados 1.5 metros entre anclajes como se muestra en la Figura 29.

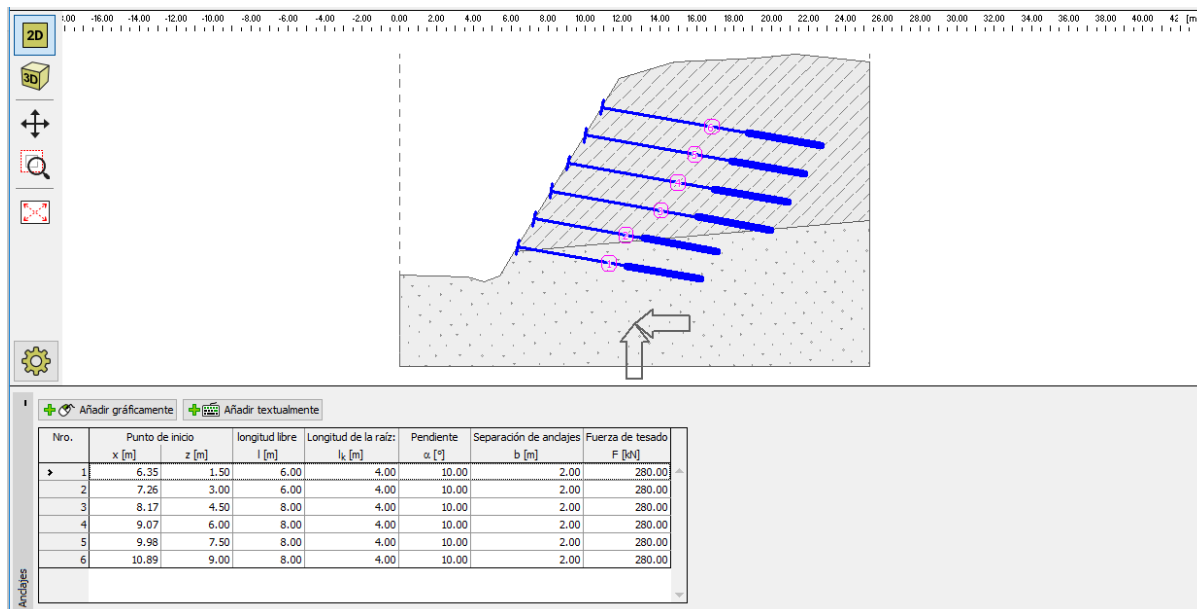


Figura 29. Ingreso de datos Muro anclado.  
Fuente: Elaborado por Diego Mesías.

La fuerza de tesado para esta etapa está dada por el 80% de la resistencia máxima del anclaje dada en tablas o catálogos.

Los factores de seguridad obtenidos se muestran en la Tabla 10 y la evidencia de los resultados se muestra en el Anexo 2.



Tabla 10  
Factores de seguridad (Muro anclado).

Círculo	Bishop		Morgenstern-Price	
	Estático	Pseudo-estático	Estático	Pseudo-estático
1	1.92>1.50	1.49>1.10	11.41>1.50	3.09>1.10
2	2.27>1.50	1.66>1.10	-	5.51>1.10
3	2.88>1.50	2.22>1.10	-	-
4	4.79>1.50	4.27>1.10	-	-
5	3.18>1.50	2.50>1.10	-	-

Fuente: Elaborado por Diego Mesías.

Como los factores de seguridad son mayores a los mínimos recomendados para estabilidad global, entonces se procederá a realizar el diseño final.

### 6.5. Reconformación geométrica + Muro claveteado.

Se plantea usar la alternativa de reconformación geométrica adicionando un muro claveteado para ayudar a la estabilidad global del talud.

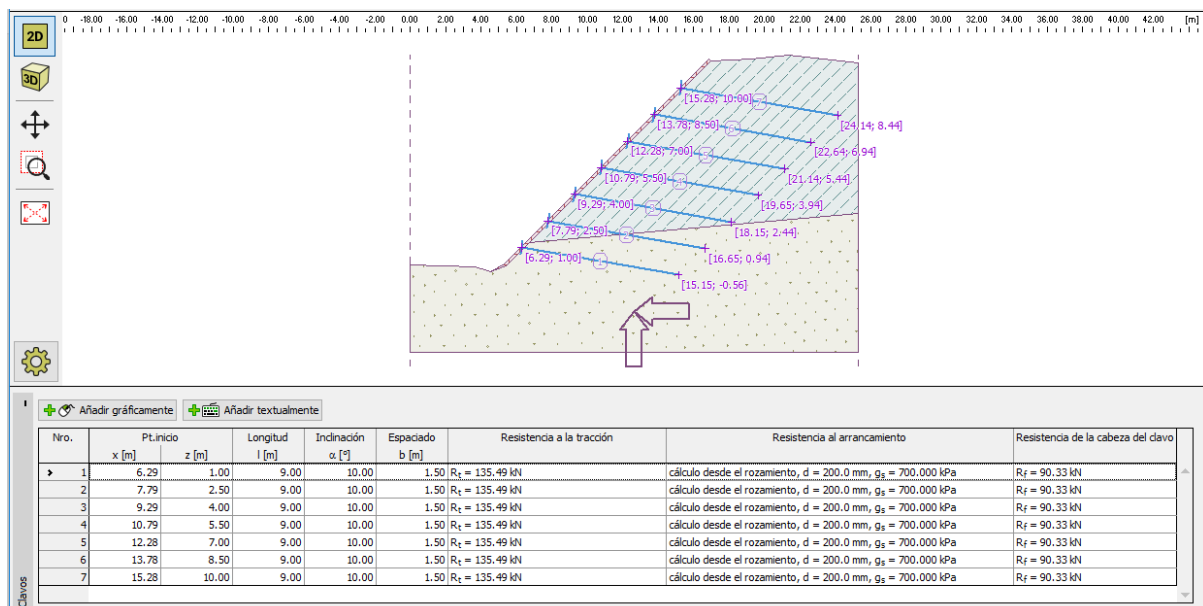


Figura 30. Ingreso de datos Reconformación + Muro claveteado.

Fuente: Elaborado por Diego Mesías.

Los datos ingresados para la verificación son los mismos que los ingresados en el numeral 6.3 ya que se trata del mismo tipo de clavos.

Los factores de seguridad obtenidos se muestran en la Tabla 11 y la evidencia de los resultados se muestra en el Anexo 3.

Tabla 11

*Factores de seguridad (Reconformación + Muro claveteado).*

Círculo	Bishop		Morgenstern-Price	
	Estático	Pseudo-estático	Estático	Pseudo-estático
1	1.57>1.50	1.16>1.10	1.57>1.50	1.22>1.10
2	5.52>1.50	1.14>1.10	5.56>1.50	4.31>1.10
3	11.80>1.50	1.80>1.10	11.86>1.50	9.60>1.10
4	-	-	-	-
5	25.91>1.50	2.03>1.10	26.09>1.50	21.93>1.10

Fuente: Elaborado por Diego Mesías.

Como los factores de seguridad son mayores a los mínimos recomendados para estabilidad global, entonces se procederá a realizar el diseño final.

## 7. Diseño

Se realizará el diseño de cada alternativa de estabilización, mismas que pasaron la etapa de análisis de alternativas. Los métodos utilizados para el diseño se basan en la metodología propuesta por (FHWA, 2009). Siendo esta la entidad encargada de la administración sobre la “construcción, mantenimiento y conservación de carreteras, puentes y túneles de los Estados Unidos de América” (Montenegro Procel y Tipán Guallasamín, 2016, p.31). La FHWA publica recomendaciones en base a sus propias investigaciones basados en normativas como ACI y AASHTO.

### 7.1. Muro claveteado.

Para el diseño se usó el programa Geo5 en su módulo (Muro claveteado). Para lo cual se ingresan los mismos valores que en el análisis de alternativas.

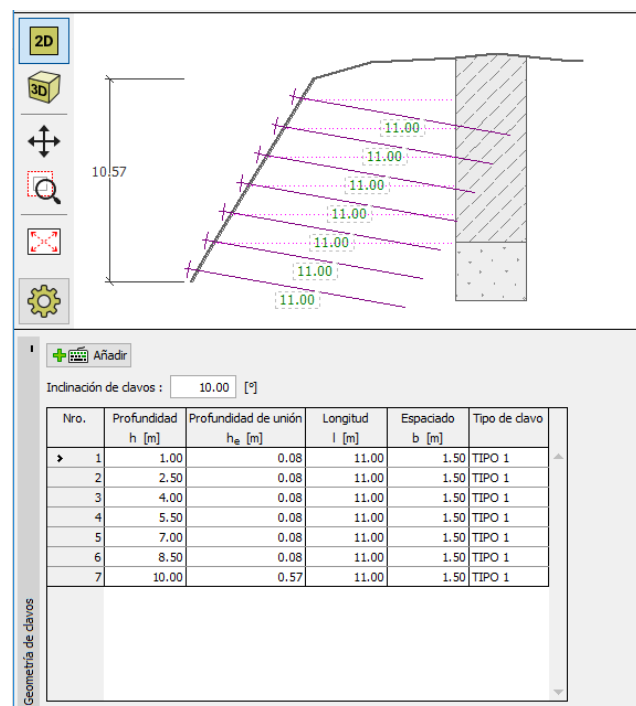


Figura 31. Geometría de clavos.  
Fuente: Elaborado por Diego Mesías.

### **7.1.1. Consideraciones de diseño.**

El muro claveteado consta de 7 clavos de 11 metros de longitud, con un espaciamiento entre ellos de 1.5 m, la excavación de cada uno tiene un diámetro de 20 cm y se proyecta que tenga una varilla corrugada de 18 mm con un  $f_y=420$  MPa. La pantalla es de hormigón lanzado de 12 cm de espesor y un  $f'_c=28$  MPa. Con una malla electrosoldada a 6 cm de profundidad cuyas características se definirán más adelante.

### **7.1.2. Estabilidad externa.**

#### **7.1.2.1. Estabilidad global ( $FS_G$ ).**

De la Tabla 9 se puede obtener el factor de seguridad de estabilidad global, factores obtenidos bajo la condición estática y pseudo-estática. De los cuales se toman los valores mínimos.

$$FS_G=1.62>1.5 \quad \text{OK}$$

$$FS_{G\text{sismo}}=1.23>1.1 \quad \text{OK}$$

#### **7.1.2.2. Deslizamiento ( $FS_{SL}$ ).**

Como se puede observar en las Figura 32 y 33. La comprobación de deslizamiento se la realiza con una superficie de falla recta o quebrada, en este caso se realizó con una superficie quebrada que atraviesa los 7 clavos y que da el factor de seguridad mínimo para la estructura.

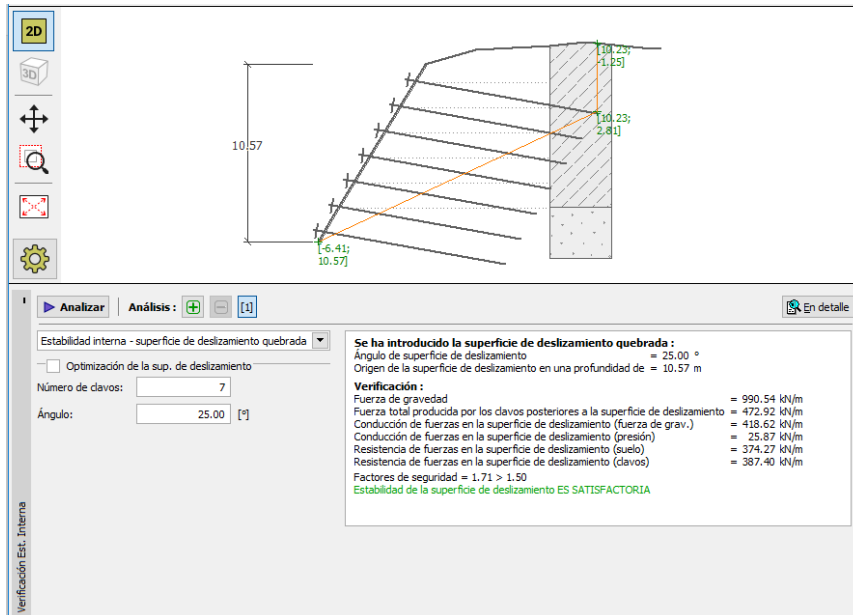


Figura 32. Comprobación de deslizamiento condición estática.

Fuente: Elaborado por Diego Mesías.

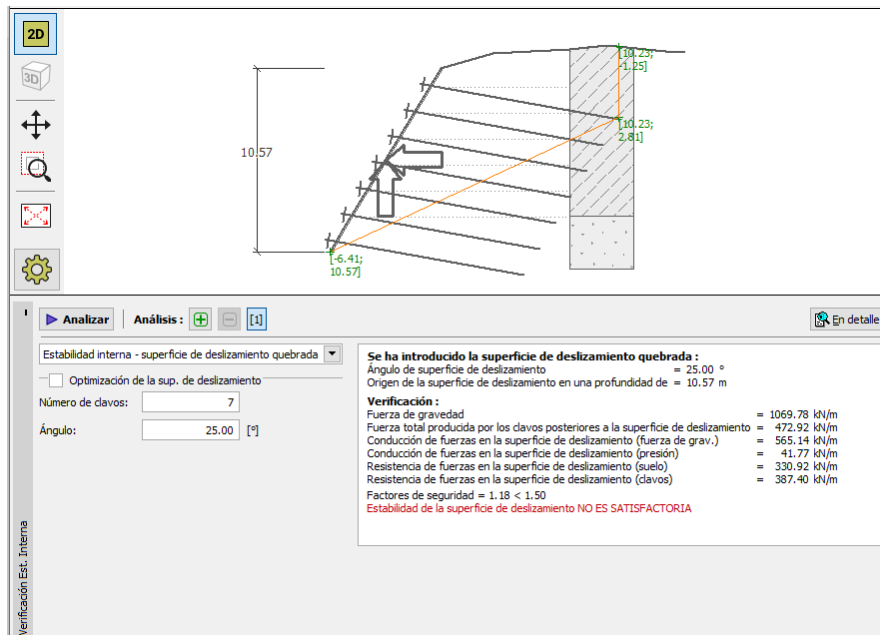


Figura 33. Comprobación de deslizamiento condición pseudo-estática.

Fuente: Elaborado por Diego Mesías.

$$FS_{SL}=1.71>1.5 \quad \text{OK}$$

$$FS_{SLismo}=1.18>1.1 \quad \text{OK}$$

### 7.1.3. Estabilidad interna.

#### 7.1.3.1. Resistencia al arrancamiento ( $FS_p$ ).

El cálculo de la resistencia a la extracción del clavo está dado por la expresión:

$$Q = q_u \pi d L_R \quad (10)$$

$Q$ =Resistencia total última al arrancamiento

$q_u$ =Esfuerzo de resistencia al arrancamiento (Figura 28)

$d$ =Diámetro de la perforación

$L_R$ =Longitud del clavo por detrás de la superficie de falla

$$Q=439.82 \text{ KN}$$

La tensión máxima sobre un clavo está dada por:

$$T_{max} = \lambda_1 K_A \gamma H S_H S_V \quad (8)$$

$T_{max}$ =Tensión máxima en un clavo

$K_A$ =Coeficiente de presión activa

$\gamma$ =Peso específico del suelo

$S_h=S_v$ =Espaciamiento vertical y horizontal de los clavos

$H$ =Altura total del muro

$\lambda_1$ =Factor adimensional

$$T_{max}=141.02 \text{ KN}$$

$$FS_p = \frac{Q}{T_{max}} = 3.12 > 2 \quad \text{OK}$$

Se utilizó el valor de  $K_{AE}$  ya que este da el valor más alto de  $T_{max}$  y por lo tanto el valor mínimo de factor de seguridad.

### 7.1.3.2. Resistencia a la tensión de la barra de anclaje ( $FS_T$ ).

“Esta falla tiene lugar cuando la resistencia a la tracción es insuficiente” (Montenegro Procel y Tipán Guallasamín, 2016, p.40).

$$R_T = \frac{\phi^2 \pi}{4} f_y \quad (11)$$

$$\phi = 18 \text{ mm}$$

$$f_y = 420 \text{ MPa}$$

$$R_T = 106.88 \text{ KN}$$

Las cargas máximas en cada clavo se obtienen del programa geotécnico. El cual simula una superficie de falla que produce las cargas más altas en los mismos. Resultados que pueden ser observados en las Figuras 34 y 35.

#### Verificación de la capacidad portante de los clavos

Coef. de reducción de la presión activa de la tierra para controlar la capacidad portante de clavos  $k_n = 0.69$ .

Clavo	Profundidad h [m]	Tipo de clavos	Capacidad portante de los clavos [kN]	Fuerza del clavo [kN]	Verificación
1	1.00	TIPO 1	106.88	0.00	es satisfactorio
2	2.50	TIPO 1	106.88	3.46	es satisfactorio
3	4.00	TIPO 1	106.88	15.49	es satisfactorio
4	5.50	TIPO 1	106.88	29.34	es satisfactorio
5	7.00	TIPO 1	106.88	43.19	es satisfactorio
6	8.50	TIPO 1	106.88	55.32	es satisfactorio
7	10.00	TIPO 1	106.88	46.37	es satisfactorio

Clavo con utilización max. - N° 6.

Capacidad portante de los clavos = 106.88 kN > 55.32 kN = Fuerza del clavo

Capacidad portante de clavos ES SATISFACTORIA

Figura 34. Fuerza en cada clavo condición estática.

Fuente: Elaborado por Diego Mesías.

#### Verificación de la capacidad portante de los clavos

Coef. de reducción de la presión activa de la tierra para controlar la capacidad portante de clavos  $k_n = 0.69$ .

Clavo	Profundidad h [m]	Tipo de clavos	Capacidad portante de los clavos [kN]	Fuerza del clavo [kN]	Verificación
1	1.00	TIPO 1	106.88	55.42	es satisfactorio
2	2.50	TIPO 1	106.88	70.58	es satisfactorio
3	4.00	TIPO 1	106.88	71.15	es satisfactorio
4	5.50	TIPO 1	106.88	73.54	es satisfactorio
5	7.00	TIPO 1	106.88	75.94	es satisfactorio
6	8.50	TIPO 1	106.88	76.83	es satisfactorio
7	10.00	TIPO 1	106.88	59.32	es satisfactorio

Clavo con utilización max. - N° 6.

Capacidad portante de los clavos = 106.88 kN > 76.83 kN = Fuerza del clavo

Capacidad portante de clavos ES SATISFACTORIA

Figura 35. Fuerza en cada clavo condición pseudo-estática.

Fuente: Elaborado por Diego Mesías.

Del programa geotécnico se obtiene el dato  $P_o$  que es la fuerza máxima en un clavo en condiciones estáticas y pseudo-estáticas.

$$P_o = 55.32 \text{ KN}$$

$$P_{Osismo} = 76.83 \text{ KN}$$

$$FS_T = \frac{R_T}{P_o} = 1.93 > 1.8 \quad \text{OK}$$

$$FS_{Tsismo} = \frac{R_T}{P_{Osismo}} = 1.39 > 1.35 \quad \text{OK}$$

#### 7.1.4. Resistencia del revestimiento.

El programa Geo5 permite dimensionar la pantalla mediante dos formas, una malla electrosoldada base en toda la pantalla y un refuerzo adicional en cada clavo.

El caso más extremo es el de la condición pseudo-estática, por lo que con esta se dimensionará el refuerzo, aunque de todas maneras se verificarán los resultados bajo las dos cargas.



Datos de la varilla		Sección acero malla Armex® As (mm²/m)									
Diámetro Ø mm	Área As mm²	Apertura entre varillas									
		5cm	10cm	15cm	20cm	25cm	30cm	35cm	40cm	45cm	50cm
3,5	9,6	192	96	64	48	38	32	27	24	21	19
4,0	12,6	251	126	84	63	50	42	36	31	28	25
4,5	15,9	318	159	106	80	64	53	45	40	35	32
5,0	19,6	393	196	131	98	79	65	56	49	44	39
5,5	23,8	475	238	158	119	95	79	68	59	53	48
6,0	28,3	565	283	188	141	113	94	81	71	63	57
6,5	33,2	664	332	221	166	133	111	95	83	74	66
7,0	38,5	770	385	257	192	154	128	110	96	86	77
7,5	44,2	884	442	295	221	177	147	126	110	98	88
8,0	50,3	1005	503	335	251	201	168	144	126	112	101
8,5	56,7	1135	567	378	284	227	189	162	142	126	113
9,0	63,6	1272	636	424	318	254	212	182	159	141	127
9,5	70,9	1418	709	473	354	284	236	203	177	158	142
10,0	78,5	1571	785	524	393	314	262	224	196	175	157
10,5	86,6	1732	866	577	433	346	289	247	216	192	173
11,0	95,0	1901	950	634	475	380	317	272	238	211	190
12,0	113,1	2262	1131	754	565	452	377	323	283	251	226

Figura 36. Catálogo malla Armex.

Fuente: Recuperado de (Ideal Alambrec, 2012).

Se escogió una malla de diámetro 9mm con una apertura de 10cm.

De las Figuras 37, 38 y 39 se puede obtener la verificación de la pantalla y de los refuerzos en cada clavo.

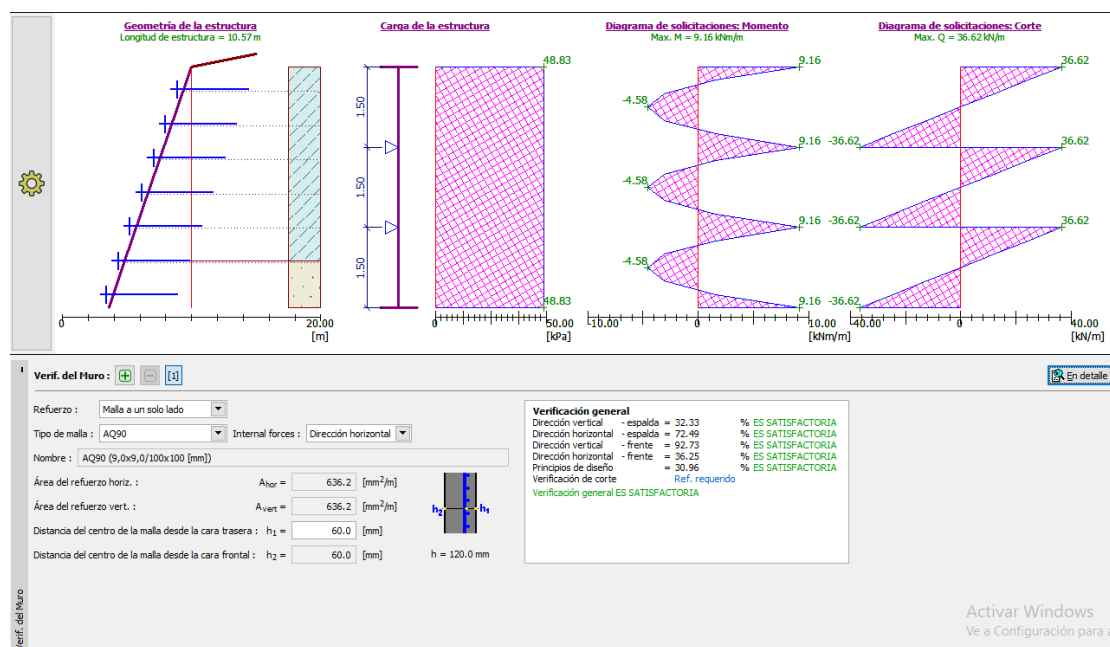


Figura 37. Verificación general dirección horizontal condición pseudo-estática.

Fuente: Elaborado por Diego Mesías.

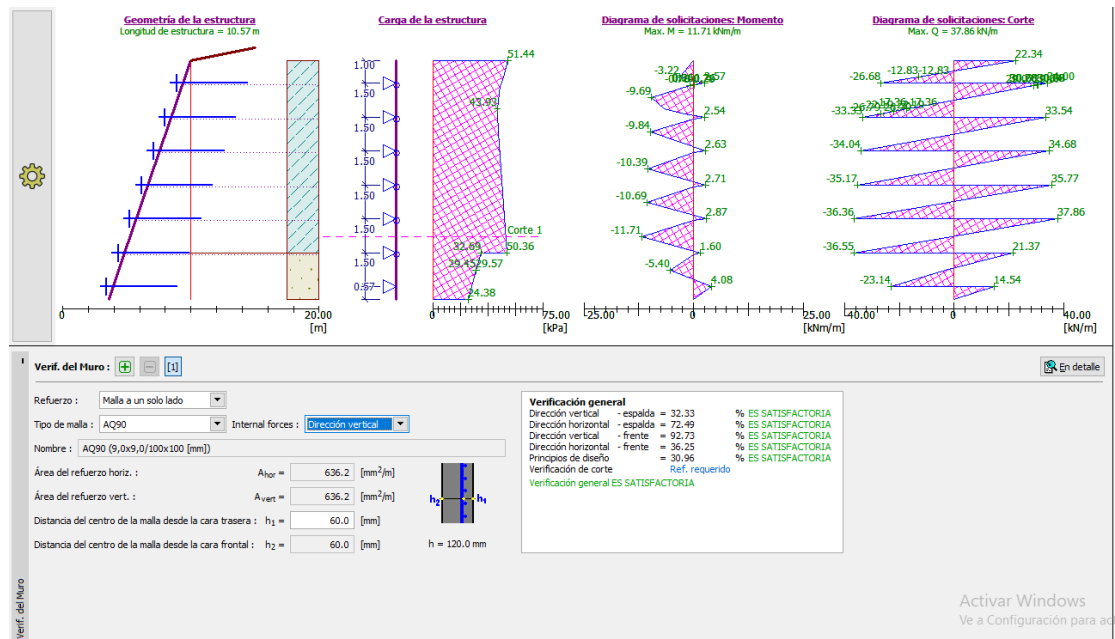


Figura 38. Verificación general dirección vertical condición pseudo-estática.  
Fuente: Elaborado por Diego Mesías.

#### Dimensionado del recubrimiento de hormigón en sección 7.79 m. (max.momento)

Análisis realizados para el refuerzo vertical

Reforzo y dimensiones de la sección transversal: 6 perf. Nro. 4, cobertura 40.0 mm

Ancho de la sección transversal = 1.00 m

Profundidad de la sección transversal = 0.12 m

Cuantía del refuerzo  $\rho = 1.03 \% > 0.33 \% = \rho_{min}$

Posición del eje neutro  $c = 0.02 \text{ m} < 0.03 \text{ m} = c_{max}$

Fuerza de corte última  $\phi V_n = 42.04 \text{ kN/m} > 37.86 \text{ kN/m} = V_u$

Momento último  $\phi M_n = 18.59 \text{ kNm/m} > 11.71 \text{ kNm/m} = M_u$

La sección transversal es SATISFACTORIA.

Figura 39. Verificación refuerzo en clavo más cargado.

Fuente: Elaborado por Diego Mesías.

#### 7.1.4.1. Flexión del revestimiento ( $FS_{FF}$ ).

$$a_{sf} = \frac{6\pi\phi^2}{4} \quad (12)$$

$$\phi = 12 \text{ mm}$$

$$a_{sf} = 678.58 \text{ mm}^2 = \text{Refuerzo adicional}$$

$$a_{sm} = 636.2 \text{ mm}^2 = \text{Refuerzo por malla electrosoldada}$$

$$R_{FF} = \frac{c_f}{265} (a_{sm} + a_{sf}) \left( \frac{Sh_{*e}}{S_v} \right) f_y \quad (13)$$

$$R_{FF} = 297.69 \text{ KN}$$

$$T_o = P_o[0.6 + 0.2(S_v - 1)] \quad (14)$$

$$T_o = 38.724 \text{ KN}$$

$$T_{Osismo} = 53.781 \text{ KN}$$

$$FS_{FF} = \frac{R_{FF}}{T_o} = 7.69 > 1.5 \quad \text{OK}$$

$$FS_{FFsismo} = \frac{R_{FF}}{T_{Osismo}} = 5.54 > 1.1 \quad \text{OK}$$

7.1.4.2. Corte por Punzonamiento ( $FS_{FP}$ ).

$$V_f = 330\sqrt{f'_c} * \pi * D'c * e \quad (15)$$

$$V_f = 79.98 \text{ kN}$$

$$R_{FP} = C_p * V_f \quad (16)$$

$$R_{FP} = 78.98 \text{ kN}$$

$$FS_{FP} = \frac{R_{FP}}{T_o} = 2.1 > 1.5 \quad \text{OK}$$

$$FS_{FPsismo} = \frac{R_{FP}}{T_{Osismo}} = 1.51 > 1.1 \quad \text{OK}$$

## 7.2. Muro anclado.

El diseño del muro anclado se lo realizará con el programa Etabs 2016 debido a que ninguno de los programas geotécnicos utilizados tiene un módulo para diseño de muros anclados aplicado a la estabilización de taludes.

Por lo que se seguirán los lineamientos de FHWA para las cargas y la obtención de resultados.

### **7.2.1. Consideraciones de diseño.**

El muro consta de 6 anclajes separados entre ellos 2 m. Se proyecta anclajes postensados con bulbos de 4 metros. El hormigón de la pantalla y de los anclajes se proyecta de 28 MPa, con anclajes que constan de tornillos autoperforantes con un  $f_y=650$  MPa.

#### **7.2.1.1. Presiones.**

Las presiones se determinarán de acuerdo a las recomendaciones de la FHWA, basadas en AASHTO, que permiten calcular las presiones en el muro mediante la teoría de Terzagui y Peck, para lo cual se tiene que conocer de antemano la ubicación de los anclajes (Suarez, 2009).

Se calculan dependiendo el tipo de suelo a ser contenido, pero al no haber exactamente el tipo de suelo con el que se cuenta para la investigación, se calcularán las presiones para todos los tipos y se elegirán los valores máximos.

Todos los cálculos se basan en la Figura 4.

### **7.2.2. Estabilidad externa.**

#### **7.2.2.1. Estabilidad global ( $FS_G$ ).**

De la Tabla 10 se puede obtener el factor de seguridad de estabilidad global, factores obtenidos bajo la condición estática y pseudo-estática. De los cuales se toman los valores mínimos.

$$FS_G=1.92>1.5 \quad \text{OK}$$

$$FS_{G_{\text{sismo}}}=1.49>1.1 \quad \text{OK}$$

#### **7.2.2.2. Deslizamiento ( $FS_{SL}$ ).**

La condición de deslizamiento no aplica para muros anclados ya que son un sistema activo, por lo que presionan la masa de suelo a ser contenida.

### 7.2.3. Estabilidad interna.

#### 7.2.3.1. Resistencia al arrancamiento ( $FS_p$ ).

La resistencia a la adherencia muy raramente se mide en el laboratorio y no existe procedimiento estándar para calcularla. La mayoría de los diseños se basan en estimativos “crudos” de la resistencia entre el suelo o roca y el bulbo, por correlación con casos similares, tablas de resistencias típicas o por experiencia local (Suarez, 2009, p.163).

Como una solución práctica a la incertidumbre provocada por este tema se realiza una prueba de carga en los anclajes con el objeto de verificar los valores supuestos, y de ser necesario realizar correcciones en el diseño (Suarez, 2009).

$$\tau_a = \frac{T}{\pi * D_h * L_b} \quad (16)$$

$\tau_a$  = Esfuerzo cortante permitido

$T$  = Máxima tensión de diseño = 394.48 kN

$D_h$  = Diámetro de la perforación = 0.15 m

$L_b$  = Longitud del bulbo = 4 m

$$\tau_a = 209.28 \text{ kPa}$$

El esfuerzo cortante máximo en un suelo similar al estudiado está entre los 170 y 400 kPa, por lo que se toma como válido este esfuerzo, mismo que será verificado en campo a través de la prueba de carga antes mencionada.

#### 7.2.3.2. Fuerzas de postensado en anclajes.

Tomando en cuenta que ninguno de los programas geotécnicos utilizados para la investigación cuenta con un módulo de diseño de muros anclados, se procedió a la utilización

de un programa de cálculo estructural para la determinación de las fuerzas actuantes sobre el muro y en el anclaje, dicho programa es Etabs en su versión 2016.

Se modeló 1.5m de muro correspondiente al área cooperante de cada anclaje.

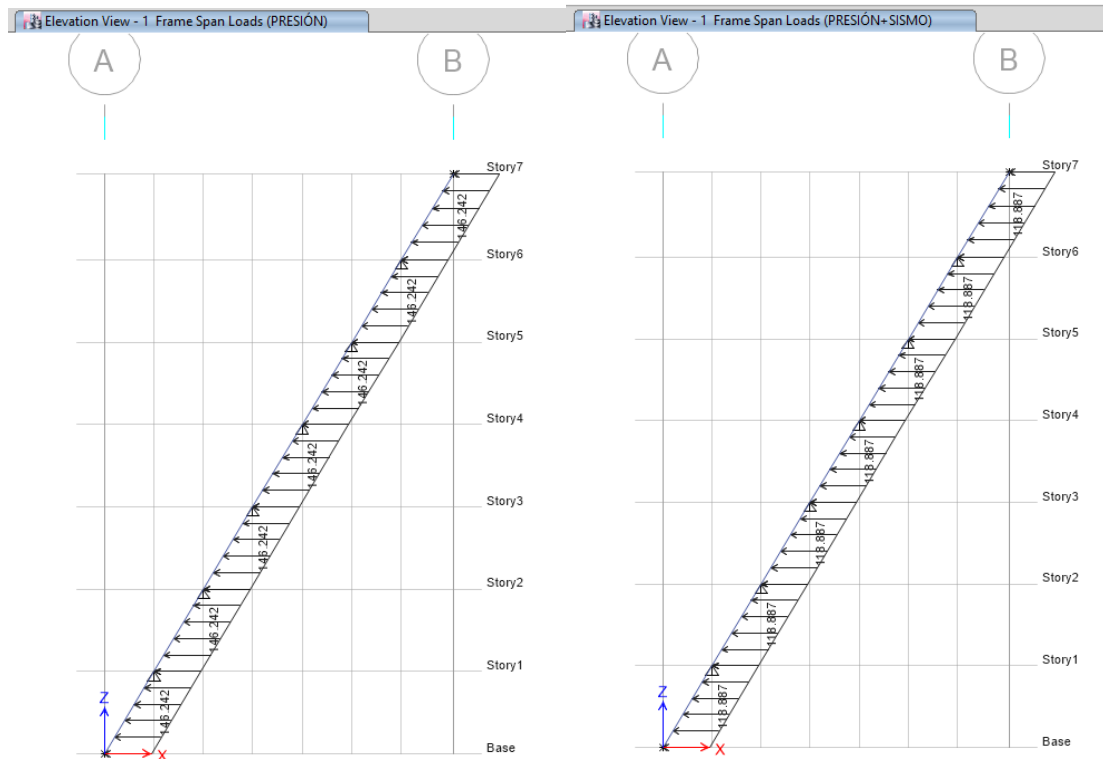


Figura 40. Modelo de franja de 1.5m de muro anclado (Etabs 2016).  
Fuente: Elaborado por Diego Mesías.

Del programa se pueden obtener las fuerzas actuantes en los anclajes para poder determinar las fuerzas de tesado teórico y real.

$$P_O = 307.44 \text{ kN}$$

$$P_{O\text{sismo}} = 319.98 \text{ kN}$$

La fuerza de tesado se tiene que obtener para cada anclaje para lo cual se usaron las siguientes ecuaciones.

$$\Delta_L = \frac{P_O * L_L}{\frac{(\phi_{ea}^2 - \phi_{ia}^2) * \pi * E}{4}} \quad (17)$$

$$\Delta_{LT} = \Delta_L * 1.05 + 6.35 \quad (18)$$

$$T_{PT} = \frac{\Delta_{LT} * \frac{(\phi_{ea}^2 - \phi_{ia}^2) * \pi * E}{4}}{L_L} \quad (19)$$

$$T_{PP} = \frac{T_{PT} * f_y}{T_R} \quad (20)$$

$\Delta_L$  = Elongación debido a la carga en el anclaje( $P_O$ )

$P_O$  = Carga actuante máxima

$L_L$  = Longitud de la zona libre del anclaje

$\phi_{ea}$  = Diámetro externo del anclaje

$\phi_{ia}$  = Diámetro interno del anclaje

$E$  = Módulo de elasticidad del anclaje

$\Delta_{LT}$  = Elongación debido a las pérdidas totales.

$T_{PT}$  = Carga teórica de postensado (MPa)

$T_{PT}$  = Carga aplicada por el equipo mecánico (gato hidráulico)

En las Tablas 12 y 13 se pueden apreciar los resultados obtenidos con las ecuaciones antes mencionadas, obteniendo de esta manera tanto la carga teórica como la carga que tiene que ser aplicada por el gato hidráulico.

Tabla 12  
Fuerza de postensado condición estática.

Anclaje	1	2	3	4	5	6
$P_o (kN)$	307.44	36.17	171.95	137.39	140.56	162.35
$L_L (m)$	16	14	11	9	9	9
$\phi_{ea} (mm)$	51	38	38	38	38	38
$\phi_{ia} (mm)$	33	19	19	19	19	19
$E (Mpa)$	210000	210000	210000	210000	210000	210000
$f_y (Mpa)$	650	650	650	650	650	650
$T_R (kN (Catálogo))$	800	500	500	500	500	500
$\Delta_L (mm)$	19.73	2.83	10.59	6.92	7.08	8.18
$\Delta_{LT} (mm)$	27.06	9.33	17.47	13.62	13.79	14.94
$T_{PT} (kN)$	421.78	119.00	283.66	270.29	273.62	296.50
$T_{PP} (kN)$	342.70	154.70	368.76	351.37	355.70	385.44
<b>TIPO</b>	R51N	R38N	R38N	R38N	R38N	R38N

Fuente: Elaborado por Diego Mesías.

Tabla 13  
Fuerza de postensado condición pseudo-estática.

Anclaje	1	2	3	4	5	6
$P_o (kN)$	319.98	37.65	178.95	142.99	146.29	168.97
$L_L (m)$	16	14	11	9	9	9
$\phi_{ea} (mm)$	51	38	38	38	38	38
$\phi_{ia} (mm)$	33	19	19	19	19	19
$E (Mpa)$	210000	210000	210000	210000	210000	210000
$f_y (Mpa)$	650	650	650	650	650	650
$T_R (kN (Catálogo))$	800	500	500	500	500	500
$\Delta_L (mm)$	20.53	2.95	11.02	7.20	7.37	8.51
$\Delta_{LT} (mm)$	27.91	9.45	17.92	13.91	14.09	15.29
$T_{PT} (kN)$	434.95	120.55	291.01	276.17	279.63	303.45
$T_{PP} (kN)$	353.40	156.72	378.32	359.02	363.52	394.48
<b>TIPO</b>	R51N	R38N	R38N	R38N	R38N	R38N

Fuente: Elaborado por Diego Mesías.



#### 7.2.3.3. Resistencia a la tensión de la barra de anclaje ( $FS_T$ ).

Del dimensionamiento de la fuerza de postensado se obtiene que se usarán dos tipos de anclajes tipo tornillos autoperforantes (R51N y R38N). Llamaremos a R52N tipo 1 y a R38N tipo 2 por lo que se realizará la comprobación para cada opción para la carga máxima tanto en condición estática como pseudo-estática.

$$P_O = 307.44 \text{ kN}$$

$$P_{Osismo} = 319.98 \text{ kN}$$

$$R_T = \frac{(\phi_{ea}^2 - \phi_{ia}^2) * \pi * f_y}{4} \quad (21)$$

$$R_{T(1)} = 665.01 \text{ kN}$$

$$R_{T(2)} = 476.33 \text{ kN}$$

Se comprobará únicamente con la de menor resistencia.

$$FS_T = \frac{R_T}{P_O} = 2.16 > 1.80 \quad \text{OK}$$

$$FS_{Tsismo} = \frac{R_T}{P_{Osismo}} = 2.08 > 1.10 \quad \text{OK}$$

#### 7.2.4. Resistencia del revestimiento.

Para el diseño de la pantalla se usó el programa basado en elementos finitos SAP2000 con el objetivo de obtener la cuantía de refuerzo y las dimensiones finales del muro, para lo cual se modeló una sección de 1.5m x 1.5m con un anclaje central y se colocó la presión máxima de suelo y la fuerza de tesado obteniéndose los siguientes resultados.

$$A_{s\text{requerido}} = 1678 \text{ mm}^2/\text{m}$$

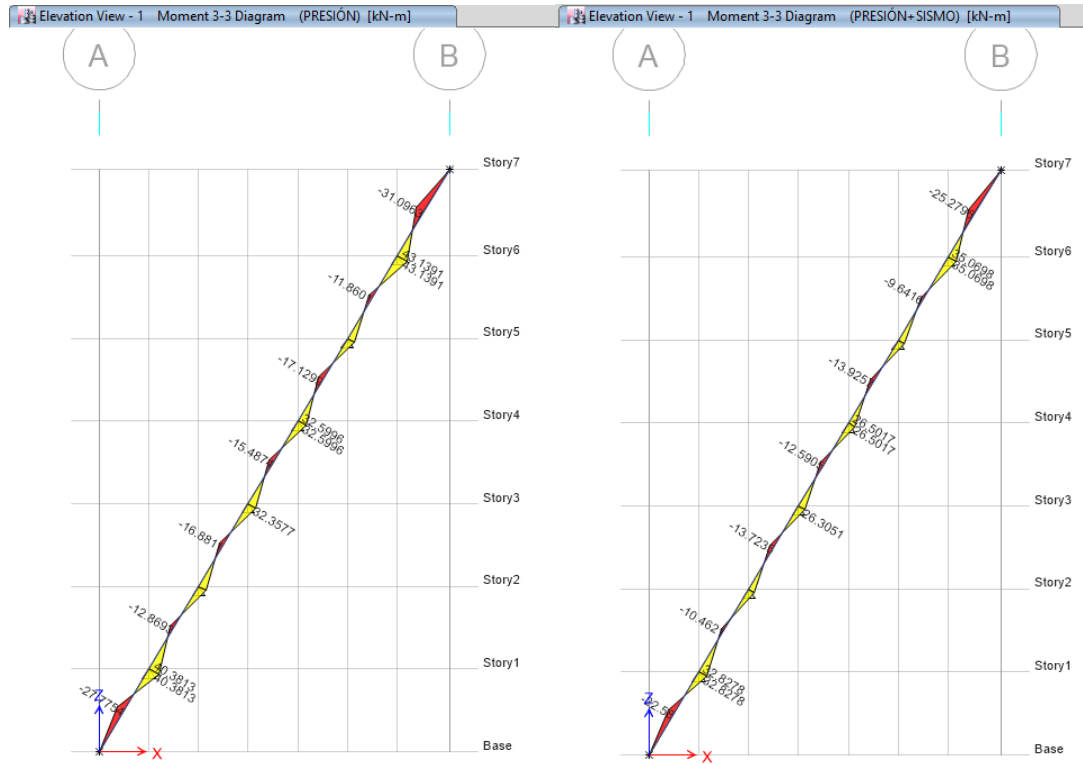


Figura 41. Modelo de sección del muro anclado.  
Fuente: Elaborado por Diego Mesías.

#### 7.2.4.1. Flexión del revestimiento ( $FS_{FF}$ )

Se propone colocar una malla electrosoldada de diámetro 9mm con una apertura de 10cm.

$$a_{sf} = \frac{6\pi\phi^2}{4} \quad (12)$$

$$\phi=16\text{mm}$$

$$a_{sf}=1206.37 \text{ mm}^2=\text{Refuerzo adicional}$$

$$a_{sm}=636.2 \text{ mm}^2=\text{Refuerzo por malla electrosoldada}$$

$$R_{FF} = \frac{c_f}{265} (a_{sm} + a_{sf}) \left( \frac{Sh^*e}{S_v} \right) f_y \quad (13)$$

$$R_{FF}=438.04 \text{ KN}$$

$$T_o = P_o [0.6 + 0.2(S_v - 1)] \quad (14)$$

$$T_o=215.208 \text{ KN}$$

$$T_{Osismo}=223.986 \text{ KN}$$

$$FS_{FF} = \frac{R_{FF}}{T_o} = 2.04 > 1.5 \quad \text{OK}$$

$$FS_{FFsismo} = \frac{R_{FF}}{T_{Osismo}} = 1.96 > 1.1 \quad \text{OK}$$

#### 7.2.4.2. Corte por Punzonamiento ( $FS_{FP}$ ).

Se planteó un pedestal de 0.50x0.50 con un espesor de 0.25 m en el cuál irá apoyado el anclaje.

$$V_f = 330\sqrt{f'c} * \pi * D'c * e \quad (15)$$

$$V_f=411.44 \text{ kN}$$

$$R_{FP} = C_p * V_f \quad (16)$$

$$R_{FP}=411.44 \text{ kN}$$

$$FS_{FP} = \frac{R_{FP}}{T_o} = 1.91 > 1.5 \quad \text{OK}$$

$$FS_{FPsismo} = \frac{R_{FP}}{T_{Osismo}} = 1.84 > 1.1 \quad \text{OK}$$

### 7.3. Reconformación geométrica + Muro claveteado.

Para el diseño se usó el programa Geo5 en su módulo (Muro claveteado). Para lo cual se ingresan los mismos valores que en el análisis de alternativas.

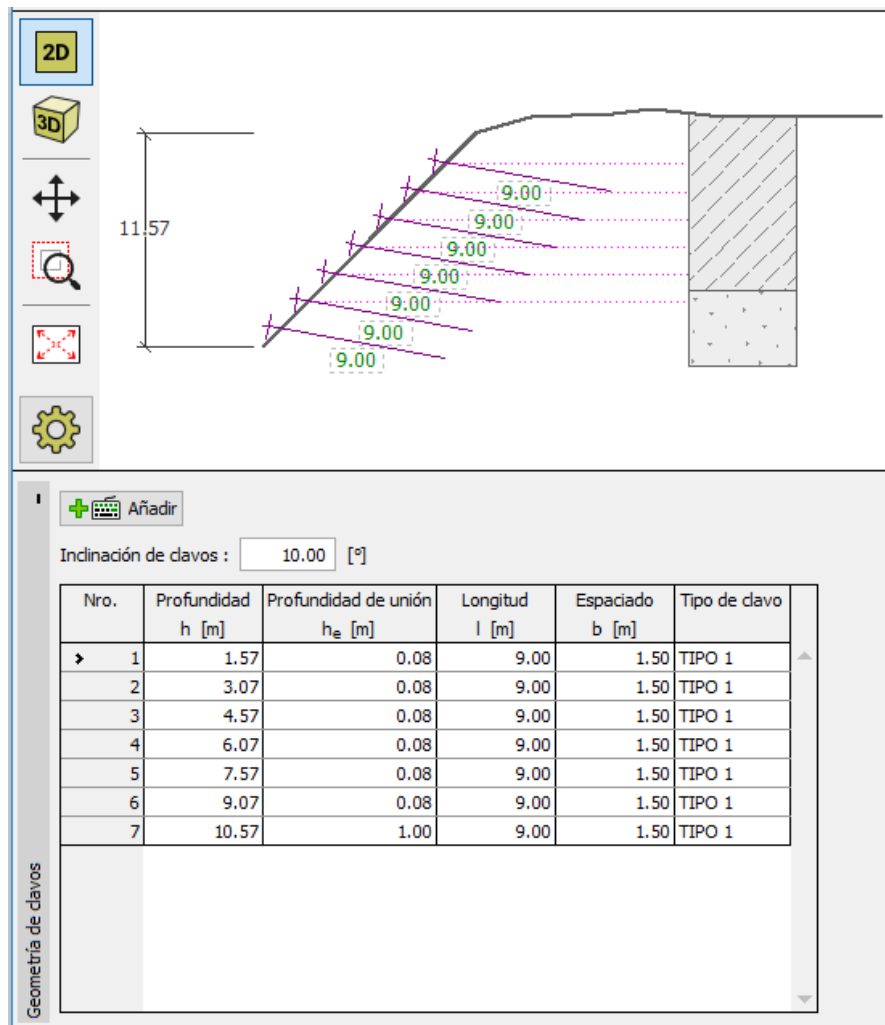


Figura 42. Geometría de clavos.  
Fuente: Elaborado por Diego Mesías.

### 7.3.1. Consideraciones de diseño.

El muro claveteado consta de 7 clavos de 9 metros de longitud, con un espaciamiento entre ellos de 1.5 m, la excavación de cada uno tiene un diámetro de 20 cm y se proyecta que tenga una varilla corrugada de 25 mm con un  $f_y=420$  MPa. La pantalla es de hormigón lanzado de 12 cm de espesor y un  $f'_c=28$  MPa. Con una malla electrosoldada a 6 cm de profundidad cuyas características se definirán más adelante.

### 7.3.2. Estabilidad externa.

#### 7.3.2.1. Estabilidad global ( $FS_G$ ).

De la Tabla 9 se puede obtener el factor de seguridad de estabilidad global, factores obtenidos bajo la condición estática y pseudo-estática. De los cuales se toman los valores mínimos.

$$FS_G = 1.57 > 1.5 \quad \text{OK}$$

$$FS_{G\text{sismo}} = 1.21 > 1.1 \quad \text{OK}$$

#### 7.3.2.2. Deslizamiento ( $FS_{SL}$ ).

Como se puede observar en las Figura 43 y 44. La comprobación de deslizamiento se la realiza con una superficie de falla recta o quebrada, en este caso se realizó con una superficie quebrada que atraviesa los 6 clavos y que da el factor de seguridad mínimo para la estructura.

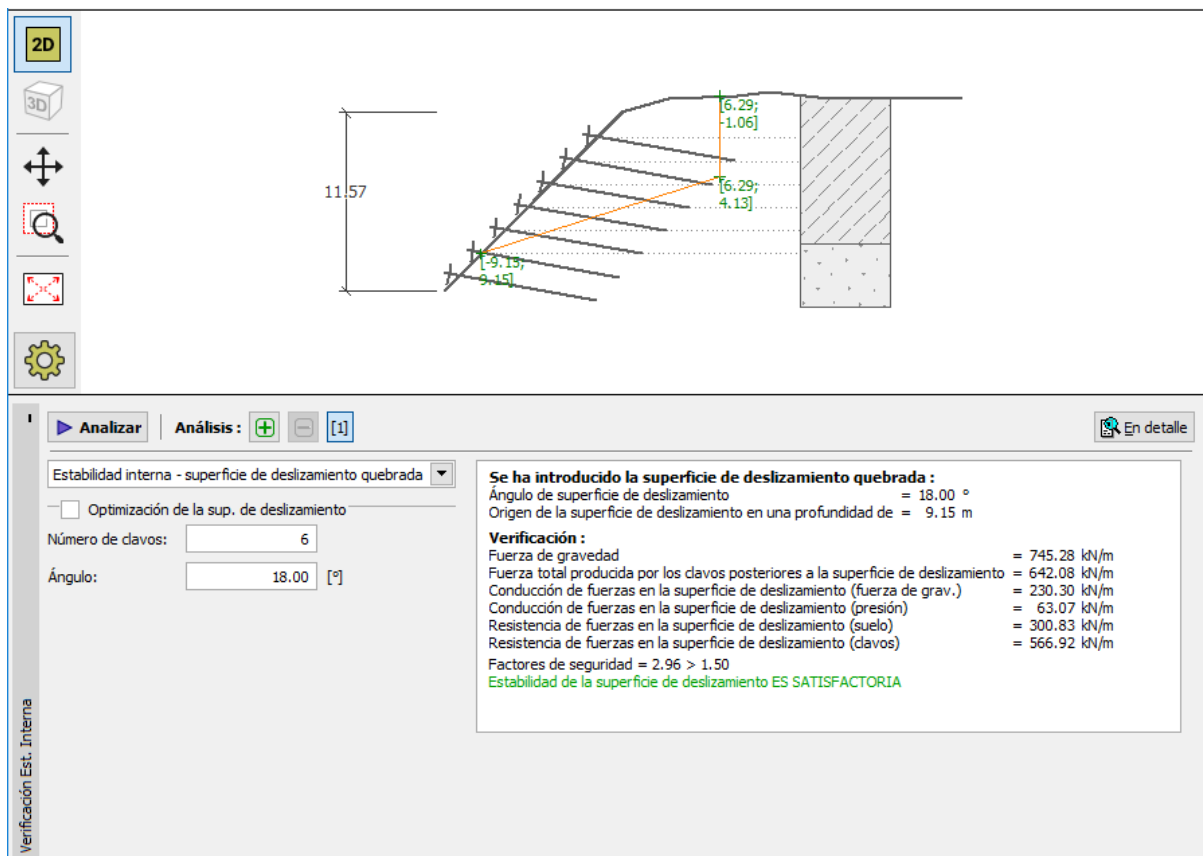


Figura 43. Comprobación de deslizamiento condición estática.

Fuente: Elaborado por Diego Mesías.

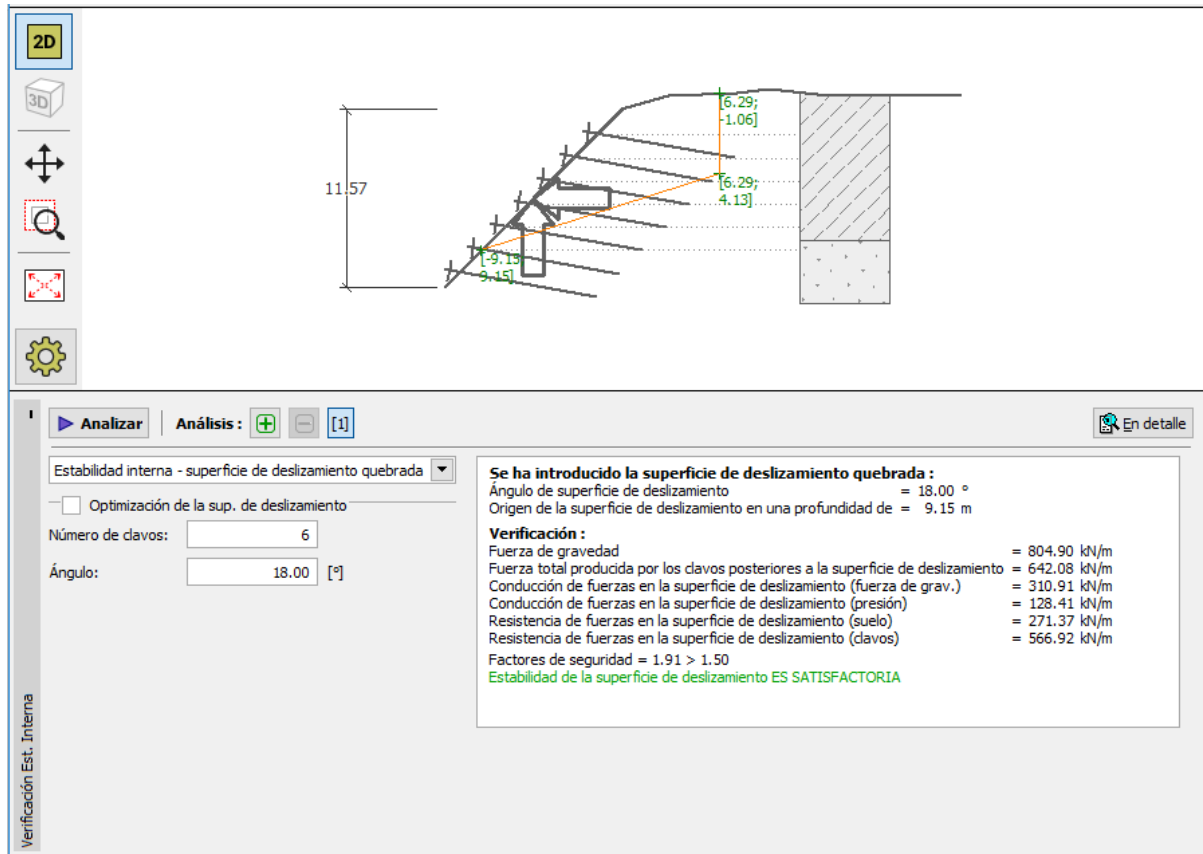


Figura 44. Comprobación de deslizamiento condición pseudo-estática.

Fuente: Elaborado por Diego Mesías.

$$FS_{SL}=2.96>1.5 \quad \text{OK}$$

$$FS_{SL\text{sismo}}=1.91>1.1 \quad \text{OK}$$

### 7.3.3. Estabilidad interna.

#### 7.3.3.1. Resistencia al arrancamiento ( $FS_p$ ).

El cálculo de la resistencia a la extracción del clavo está dado por la expresión:

$$Q = q_u \pi d L_R \quad (10)$$

$Q$ =Resistencia total última al arrancamiento

$q_u$ =Esfuerzo de resistencia al arrancamiento (Figura 28)

$d$ =Diámetro de la perforación

$L_R$ =Longitud del clavo por detrás de la superficie de falla

$$Q=219.91 \text{ KN}$$

La tensión máxima sobre un clavo está dada por:

$$T_{max} = \lambda_1 K_A \gamma H S_H S_V \quad (8)$$

$T_{max}$ =Tensión máxima en un clavo

$K_A$ =Coeficiente de presión activa

$\gamma$ =Peso específico del suelo

$S_h=S_v$ =Espaciamiento vertical y horizontal de los clavos

$H$ =Altura total del muro

$\lambda_1$ =Factor adimensional

$$T_{max}=82.33 \text{ KN}$$

$$FS_p = \frac{Q}{T_{max}} = 2.67 > 2 \quad \text{OK}$$

Se utilizó el valor de  $K_{AE}$  ya que este da el valor más alto de  $T_{max}$  y por lo tanto el valor mínimo de factor de seguridad.

### 7.3.3.2. Resistencia a la tensión de la barra de anclaje ( $FS_T$ ).

“Esta falla tiene lugar cuando la resistencia a la tracción es insuficiente” (Montenegro Procel y Tipán Guallasamín, 2016, p.40).

$$R_T = \frac{\phi^2 \pi}{4} f_y \quad (11)$$

$$\phi=25 \text{ mm}$$

$$f_y=420 \text{ MPa}$$

$$R_T=206.17 \text{ KN}$$

Las cargas máximas en cada clavo se obtienen del programa geotécnico. El cual simula una superficie de falla que produce las cargas más altas en los mismos. Resultados que pueden ser observados en las Figuras 45 y 46.

#### Verificación de la capacidad portante de los clavos

Coef. de reducción de la presión activa de la tierra para controlar la capacidad portante de clavos  $k_n = 0.67$ .

Clavo	Profundidad h [m]	Tipo de clavos	Capacidad portante de los clavos [kN]	Fuerza del clavo [kN]	Verificación
1	1.57	TIPO 1	206.17	0.00	es satisfactorio
2	3.07	TIPO 1	206.17	1.15	es satisfactorio
3	4.57	TIPO 1	206.17	6.43	es satisfactorio
4	6.07	TIPO 1	206.17	16.90	es satisfactorio
5	7.57	TIPO 1	206.17	27.45	es satisfactorio
6	9.07	TIPO 1	206.17	26.99	es satisfactorio
7	10.57	TIPO 1	206.17	29.55	es satisfactorio

Clavo con utilización max. - N° 7.

Capacidad portante de los clavos = 206.17 kN > 29.55 kN = Fuerza del clavo

Capacidad portante de clavos ES SATISFACTORIA

Figura 45. Fuerza en cada clavo condición estática.

Fuente: Elaborado por Diego Mesías.

#### Verificación de la capacidad portante de los clavos

Coef. de reducción de la presión activa de la tierra para controlar la capacidad portante de clavos  $k_n = 0.67$ .

Clavo	Profundidad h [m]	Tipo de clavos	Capacidad portante de los clavos [kN]	Fuerza del clavo [kN]	Verificación
1	1.57	TIPO 1	206.17	98.37	es satisfactorio
2	3.07	TIPO 1	206.17	77.55	es satisfactorio
3	4.57	TIPO 1	206.17	70.43	es satisfactorio
4	6.07	TIPO 1	206.17	68.49	es satisfactorio
5	7.57	TIPO 1	206.17	66.64	es satisfactorio
6	9.07	TIPO 1	206.17	53.40	es satisfactorio
7	10.57	TIPO 1	206.17	45.49	es satisfactorio

Clavo con utilización max. - N° 1.

Capacidad portante de los clavos = 206.17 kN > 98.37 kN = Fuerza del clavo

Capacidad portante de clavos ES SATISFACTORIA

Figura 46. Fuerza en cada clavo condición pseudo-estática.

Fuente: Elaborado por Diego Mesías.

Del programa geotécnico se obtiene el dato  $P_o$  que es la fuerza máxima en un clavo en condiciones estáticas y pseudo-estáticas.

$$P_o = 29.55 \text{ KN}$$

$$P_{Osismo} = 98.37 \text{ KN}$$

$$FS_T = \frac{R_T}{P_o} = 8.75 > 1.8 \quad \text{OK}$$

$$FS_{Tsismo} = \frac{R_T}{P_{Osismo}} = 2.09 > 1.35 \quad \text{OK}$$



### 7.3.4. Resistencia del revestimiento.

El programa Geo5 permite dimensionar la pantalla mediante dos formas, una malla electrosoldada base en toda la pantalla y un refuerzo adicional en cada clavo.

El caso más extremo es el de la condición pseudo-estática, por lo que con esta se dimensionará el refuerzo, aunque de todas maneras se verificarán los resultados bajo las dos cargas.

Se escogió una malla de diámetro 10.5mm con una apertura de 10cm.

De las Figuras 47,48 y 49 se puede obtener la verificación de la pantalla y de los refuerzos en cada clavo.

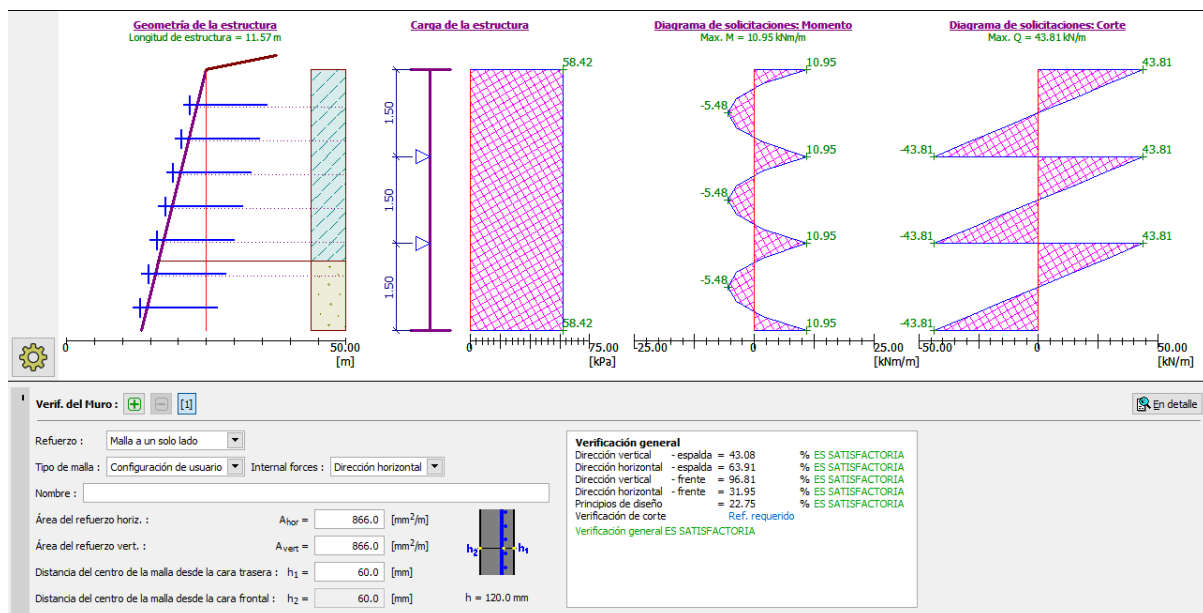


Figura 47. Verificación general dirección horizontal condición pseudo-estática.

Fuente: Elaborado por Diego Mesías.

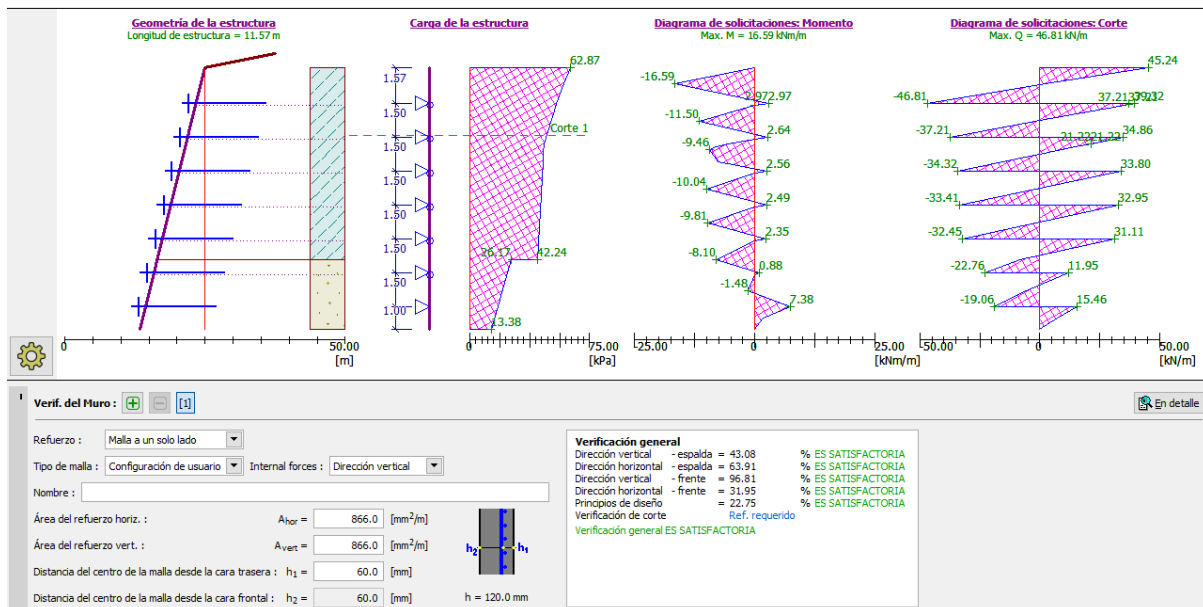


Figura 48. Verificación general dirección vertical condición pseudo-estática.  
Fuente: Elaborado por Diego Mesías.

#### Dimensionado del recubrimiento de hormigón en sección 0.71 m. (max.momento)

Análisis realizados para el refuerzo vertical

Refuerzo y dimensiones de la sección transversal: 6 perf. Nro. 4, cobertura 40.0 mm

Ancho de la sección transversal = 1.00 m

Profundidad de la sección transversal = 0.12 m

Cuantía del refuerzo  $\rho = 1.03 \% > 0.33 \% = \rho_{min}$

Posición del eje neutro  $c = 0.02 \text{ m} < 0.03 \text{ m} = c_{max}$

Fuerza de corte última  $\phi V_n = 48.54 \text{ kN/m} > 46.81 \text{ kN/m} = V_u$

Momento último  $\phi M_n = 19.23 \text{ kNm/m} > 16.59 \text{ kNm/m} = M_u$

La sección transversal es SATISFACTORIA.

Figura 49. Verificación refuerzo en clavo más cargado.  
Fuente: Elaborado por Diego Mesías.

#### 7.3.4.1. Flexión del revestimiento ( $FS_{FF}$ ).

$$a_{sf} = \frac{6\pi\phi^2}{4} \quad (12)$$

$$\phi = 12 \text{ mm}$$

$$a_{sf} = 678.58 \text{ mm}^2 = \text{Refuerzo adicional}$$

$$a_{sm} = 866 \text{ mm}^2 = \text{Refuerzo por malla electrosoldada}$$

$$R_{FF} = \frac{c_f}{265} (a_{sm} + a_{sf}) \left( \frac{Sh^{*e}}{sv} \right) f_y \quad (13)$$

$$R_{FF}=349.77 \text{ KN}$$

$$T_o = P_o[0.6 + 0.2(S_v - 1)] \quad (14)$$

$$T_o=20.69 \text{ KN}$$

$$T_{Osismo}=68.86 \text{ KN}$$

$$FS_{FF} = \frac{R_{FF}}{T_o} = 16.9 > 1.5 \quad \text{OK}$$

$$FS_{FFsismo} = \frac{R_{FF}}{T_{Osismo}} = 5.08 > 1.1 \quad \text{OK}$$

7.3.4.2. Corte por Punzonamiento ( $FS_{FP}$ ).

$$Vf = 330\sqrt{f'c} * \pi * D'c * e \quad (15)$$

$$Vf=79.98 \text{ kN}$$

$$R_{FP} = Cp * Vf \quad (16)$$

$$R_{FP}=78.98 \text{ kN}$$

$$FS_{FP} = \frac{R_{FP}}{T_o} = 3.82 > 1.5 \quad \text{OK}$$

$$FS_{FPsismo} = \frac{R_{FP}}{T_{Osismo}} = 1.15 > 1.1 \quad \text{OK}$$

## 8. Resultados

### 8.1. Alternativas.

Se propusieron inicialmente 5 alternativas en la etapa de factibilidad de las cuales 3 pasaron a proceso de diseño definitivo. Como resultado de dicho diseño se obtuvieron los factores necesarios para asegurar la integridad de la estructura bajo condiciones estáticas y pseudo-estáticas (sismo).

En la Tabla 14 se pueden evidenciar los factores obtenidos del proceso de diseño, mismos que son requeridos por (FHWA, 2015), siendo el muro claveteado la opción 1, el muro anclado la opción 2 y la reconformación geométrica más muro claveteado la opción 3.

Tabla 14  
*Factores de seguridad obtenidos del diseño.*

Modo de Falla	Componentes de resistencia	Símbolo	Factores de seguridad					
			Cargas Estáticas			Cargas Sísmicas		
			Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 1	Opción 2	Opción 3
<b>Estabilidad externa</b>	Estabilidad global	FS <sub>G</sub>	1.62>1.50	1.92>1.50	1.57>1.50	1.23>1.10	1.49>1.10	1.21>1.10
	Deslizamiento	FS <sub>SL</sub>	1.71>1.50	-	2.96>1.50	1.18>1.10	-	1.91>1.10
<b>Estabilidad interna</b>	Resistencia al arrancamiento	FS <sub>P</sub>	3.12>2.00	-	2.67>2.00	3.12>1.50	-	2.67>1.50
	Resistencia a la tensión de la barra de anclaje	FS <sub>T</sub>	1.93>1.80	2.16>1.80	8.75>1.80	1.39>1.35	2.08>1.35	2.09>1.35
<b>Resistencia del revestimiento</b>	Flexión del revestimiento	FS <sub>FF</sub>	7.69>1.50	2.04>1.50	16.90>1.50	5.54>1.10	1.96>1.10	5.08>1.10
	Corte por Punzonamiento	FS <sub>FP</sub>	2.10>1.50	1.91>1.50	3.82>1.50	1.51>1.10	1.84>1.10	1.15>1.10

Fuente: Elaborado por Diego Mesías.

En la Tabla 14 podemos observar que las tres opciones, como se plantearon, cumplen con todos los factores de seguridad exigidos para asegurar el bienestar físico y material de los usuarios de la vía a la cual pertenece el talud estudiado.

## 8.2. Comprobaciones manuales.

En el Anexo 5 se encuentran los diseños realizados por métodos manuales, mismos que presentan inconsistencias con respecto a las fuerzas obtenidas por el programa, esta diferencia se da porque los módulos de diseño no son específicamente para taludes por lo que se tomará como cierto el diseño manual.

En la Tabla 15 encontramos los factores de seguridad obtenidos con los métodos manuales.

Tabla 15  
*Factores de seguridad obtenidos del diseño.*

Modo de Falla	Componentes de resistencia	Símbolo	Factores de seguridad					
			Cargas Estáticas			Cargas Sísmicas		
			Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 1	Opción 2	Opción 3
<b>Estabilidad externa</b>	Estabilidad global	FS <sub>G</sub>	1.62>1.50	1.92>1.50	1.57>1.50	1.23>1.10	1.49>1.10	1.21>1.10
	Deslizamiento	FS <sub>SL</sub>	1.71>1.50	-	2.96>1.50	1.18>1.10	-	1.91>1.10
<b>Estabilidad interna</b>	Resistencia al arrancamiento	FS <sub>P</sub>	2.13>2.00	-	2.13>2.00	2.09>1.50	-	2.09>1.50
	Resistencia a la tensión de la barra de anclaje	FS <sub>T</sub>	1.82>1.80	2.57>1.80	2.55>1.80	1.93>1.35	2.19>1.35	1.89>1.35
<b>Resistencia del revestimiento</b>	Flexión del revestimiento	FS <sub>FF</sub>	1.61>1.50	1.99>1.50	2.24>1.50	1.70>1.10	1.70>1.10	1.67>1.10
	Corte por Punzonamiento	FS <sub>FP</sub>	1.63>1.50	2.09>1.50	2.28>1.50	1.73>1.10	1.78>1.10	1.70>1.10

Fuente: Elaborado por Diego Mesías.

## 8.3.Presupuesto.

Habiendo pasado las tres opciones la etapa de diseño, se procedió a realizar el presupuesto de cada opción mediante el análisis de precios unitarios, mismos que se encuentran en el Anexo 4.

En las Tablas 15, 16 y 17 podemos observar el presupuesto referencial de las tres opciones y los volúmenes de obra previamente mencionados.

Tabla 16  
Presupuesto referencial opción Muro Claveteado.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P.UNITARIO (USD)	TOTAL (USD)
<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>				<b>8.50</b>
Excavación a máquina	m3	2.45	3.47	8.50
<b>ESTRUCTURA DE HORMIGÓN ARMADO</b>				<b>376.35</b>
Acero de refuerzo fy=4200 kg/cm2	kg	195.00	1.93	376.35
<b>ESTRUCTURAS</b>				<b>1,018.98</b>
Hormigón proyectado f'c=280 kg/cm2	m3	2.22	199.01	441.80
Lechada de hormigón f'c=280 kg/cm2	m3	2.45	191.94	470.25
Malla electrosoldada 10.5mm a 10cm	m2	18.50	5.78	106.93
<b>TRANSPORTE</b>				<b>6.79</b>
Acarreo de materiales excavados (1km)	m3	2.45	2.77	6.79
<b>TOTAL:</b>				<b>1,410.62</b>

Fuente: Elaborado por Diego Mesías.

Tabla 17  
Presupuesto referencial opción Muro Claveteado.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P.UNITARIO (USD)	TOTAL (USD)
<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>				<b>5.31</b>
Excavación a máquina	m3	1.53	3.47	5.31
<b>ESTRUCTURA DE HORMIGÓN ARMADO</b>				<b>131.24</b>
Acero de refuerzo fy=4200 kg/cm2	kg	68.00	1.93	131.24
<b>ESTRUCTURAS</b>				<b>4,910.10</b>
Hormigón proyectado f'c=280 kg/cm2	m3	3.24	199.01	644.79
Lechada de hormigón f'c=280 kg/cm2	m3	0.42	191.94	81.38
Tornillo autoperforante R51N	m	20.27	40.44	819.72
Tornillo autoperforante R38N	m	65.35	31.25	2,042.19
Gato hidráulico (tesado de anclajes)	u	6.00	182.42	1,094.52
Malla electrosoldada 10.5mm a 10cm	m2	39.36	5.78	227.50
<b>TRANSPORTE</b>				<b>4.24</b>
Acarreo de materiales excavados (1km)	m3	1.53	2.77	4.24
<b>TOTAL:</b>				<b>5,050.89</b>

Fuente: Elaborado por Diego Mesías.

Tabla 18

*Presupuesto referencial opción Reconformación geométrica + Muro claveteado.*

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P.UNITARIO (USD)	TOTAL (USD)
<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>				<b>159.69</b>
Excavación a máquina (tendido de talud)	m3	34.38	4.44	152.65
Excavación a máquina	m3	2.03	3.47	7.04
<b>ESTRUCTURA DE HORMIGÓN ARMADO</b>				<b>551.98</b>
Acero de refuerzo fy=4200 kg/cm2	kg	286.00	1.93	551.98
<b>ESTRUCTURAS</b>				<b>1,116.34</b>
Hormigón proyectado f'c=280 kg/cm2	m3	2.94	199.01	585.09
Lechada de hormigón f'c=280 kg/cm2	m3	2.03	191.94	389.64
Malla electrosoldada 10.5mm a 10cm	m2	24.50	5.78	141.61
<b>TRANSPORTE</b>				<b>100.86</b>
Acarreo de materiales excavados (1km)	m3	36.41	2.77	100.86
<b>TOTAL:</b>				<b>1,928.87</b>

Fuente: Elaborado por Diego Mesías.

En la Tabla 19 se comparan las tres opciones de estabilización dividiendo cada opción para el menor valor según los valores observados en las Tablas 16, 17 y 18, para obtener una comparación cuantitativa entre opciones.

Tabla 19

*Comparación cuantitativa de presupuestos referenciales*

Alternativa de estabilización	Presupuesto (a)	Menor valor (b)	Comparación (a/b)
Muro Claveteado	1410.62 \$	1410.62 \$	1.00
Muro Anclado	5050.89 \$	1410.62 \$	3.58
Reconformación geométrica + muro claveteado	1928.87 \$	1410.62 \$	1.37

Fuente: Elaborado por Diego Mesías

## 9. Conclusiones

- Se realizó una perforación de 12 metros mediante SPT, de la cual se obtuvieron muestras cada metro para la caracterización del terreno más dos calicatas para obtener muestras inalteradas, datos que pueden observarse en la Tabla 4 correspondiente a la clasificación manual-visual y las Figuras 14 y 15 correspondientes a los resultados de los ensayos de corte directo (Estrato inferior) y triaxial (Estrato superior), obteniéndose el ángulo de fricción, cohesión y tipo de suelo, siendo estos los datos mínimos para la modelación del talud.
- El programa “Geo&Soft” en su módulo (I.L.A.) no permite realizar diseño de obras de contención diferentes a anclajes activos a un solo nivel, por limitaciones del propio programa, aunque sus resultados no varían en mayor proporción con respecto a otros programas para análisis de estabilidad de taludes (Tabla 6).
- El método “Bishop” es el más acertado a la hora de analizar taludes en estado natural por su facilidad de cálculo y programación, por su parte el método de “Morgenstern & Price” presenta mejores resultados analizando taludes con obras de contención, aunque su cálculo es más exigente como se puede observar en la Tabla 2 y en la Figura 5.
- La zona en la que se encuentra el talud se caracteriza por un máximo de 300mm de lluvias anuales lo que la convierte en una zona seca como se observa en el mapa de isoyetas de la Figura 11, datos corroborados por la inexistencia de nivel freático en el momento del sondeo, mismo que fue realizado en el mes de mayor incidencia de lluvias, por lo que las obras de drenaje no son necesarias, los vientos se caracterizan como vientos refrescantes según la escala de Beaufort (Merino Pozo, 2014), además de que la temperatura varía entre 16.1 °C y 18°C llegando hasta los 20 °C según el mapa de isotermas de la Figura 12, lo que hace necesaria la protección contra la erosión por lo que una pantalla es necesaria.



- Las opciones de muro claveteado, muro anclado y reconfiguración geométrica con muro claveteado cumplen con los factores mínimos de seguridad (Tabla 15), mismos que fueron escogidos ya que son los correspondientes a estructuras ancladas. Los factores de seguridad mínimos tomados como referencia se pueden observar en la Figura 8.
- De las opciones de muro claveteado, muro anclado y reconfiguración geométrica con muro claveteado; el muro claveteado es la opción económicamente más viable con un valor de 1410.62\$ por cada 1.5m de muro, valores evidenciados en la Tabla 16 y 19.
- El muro claveteado es la opción que mejor cumple con parámetros técnicos y económicos ya que es la opción que mejor resultados ha tenido históricamente bajo cargas sísmicas como se confirmó en California en el sismo de Loma Prieta de magnitud 7.5 (Folio, Vucetic, Hudson, Barar y Champman, 1990), así como la de menor valor seguido por la reconfiguración geométrica con muro claveteado como se puede observar en las Tablas 16, 17, 18 y 19.
- Los anclajes activos son 3.58 veces más caros que la opción pasiva, debido a que los anclajes son más caros y requieren materiales y maquinaria especializados para su construcción, comparación que puede observarse en la Tabla 19.
- Las pruebas de carga son necesarias para asegurar el correcto desempeño de la obra de contención ya que existe mucha incertidumbre con respecto a la interacción suelo-estructura, si bien no existe normativa con respecto al tema, la FHWA sugiere ensayar el 5% de los anclajes construidos hasta 150% de su fuerza de diseño, esto debido a que el chequeo de resistencia al arrancamiento se lo realiza con referencia a la Figura 28, lo que nos da un rango y no un valor exacto.
- El programa “GEO5” subestima las fuerzas en cada clavo si se comparan los resultados de las Tablas 34, 35, 45 y 46 con los resultados del Anexo 5, correspondientes a métodos

manuales de cálculo, ya que no existe bibliografía para conocer como calcula presiones y reacciones en la estructura, por lo que se aceptan los resultados manuales como válidos.

## **10. Recomendaciones**

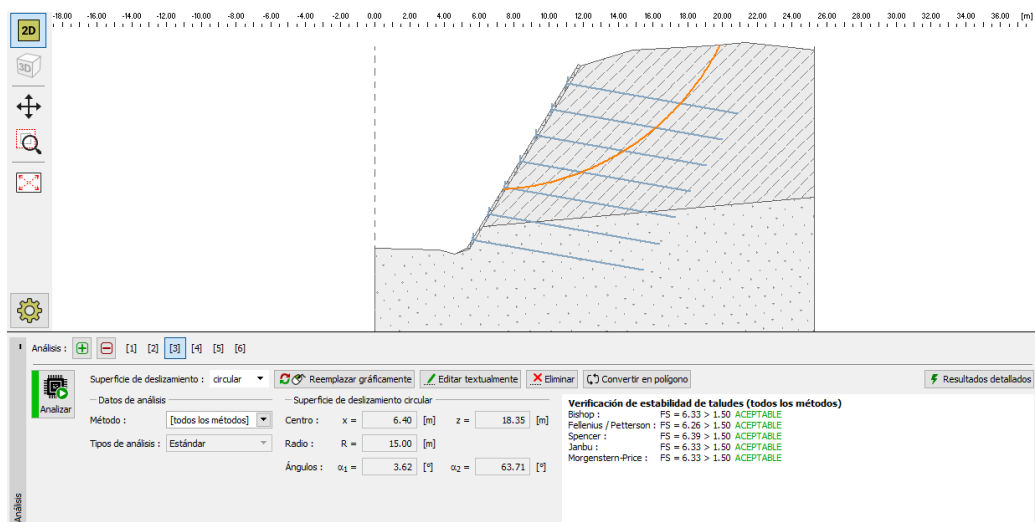
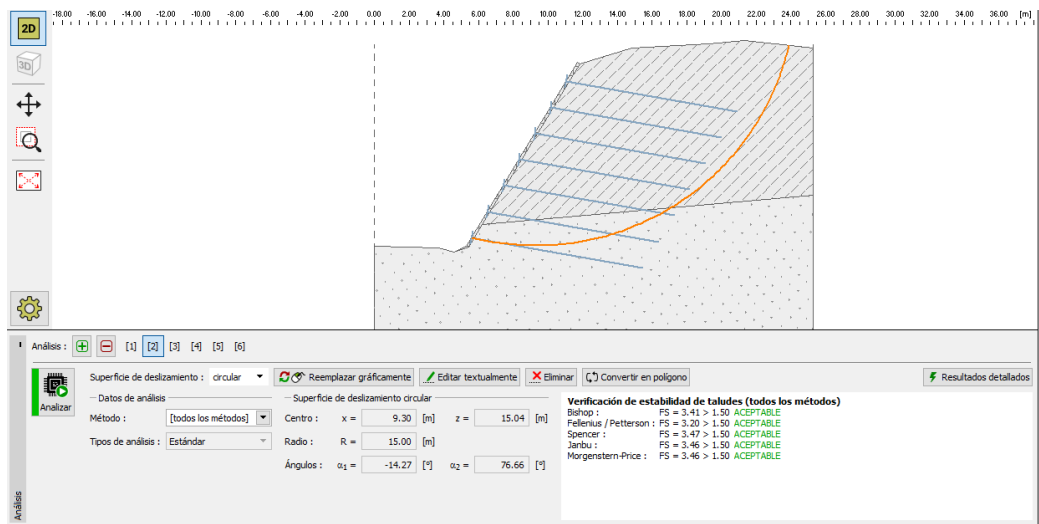
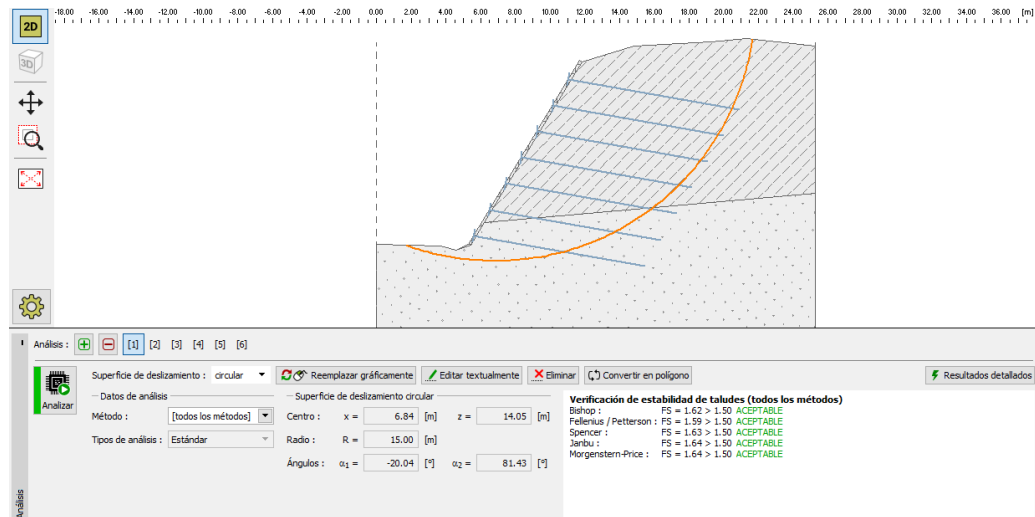
- Realizar un peinado del talud previo a la construcción de obras de contención con el objetivo de retirar cualquier material suelto que pudiera desprenderse de manera inmediata.
- Se recomienda no utilizar aditivos en la lechada de hormigón a ser inyectado en los clavos (Suarez, 2015).
- Los clavos deben fundirse antes de 24h de realizada la perforación ya que puede colapsarse e impedir la construcción.
- Se recomienda usar métodos manuales ya que aún existe incertidumbre con respecto al diseño de anclajes y clavos, y los mismos brindan reacciones muy cercanas a las reales y momentos conservadores.

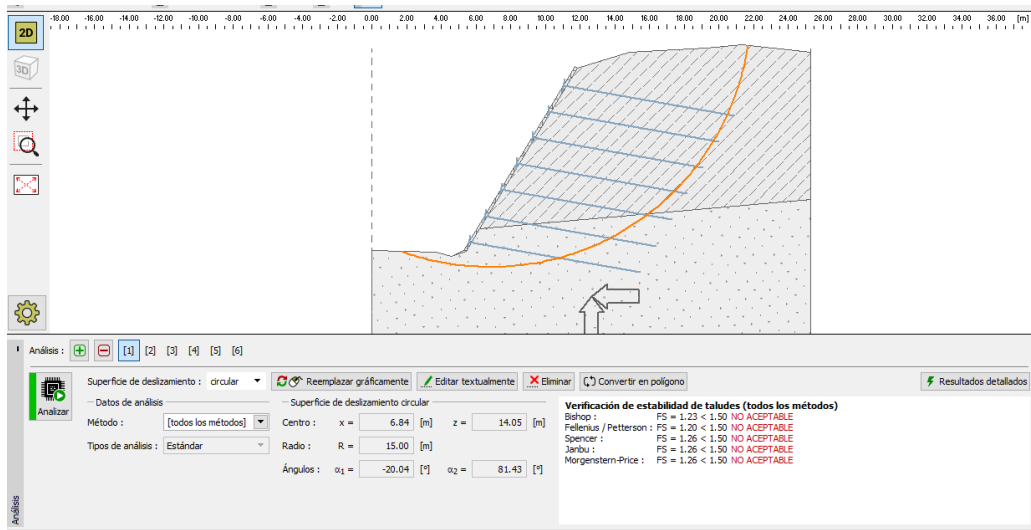
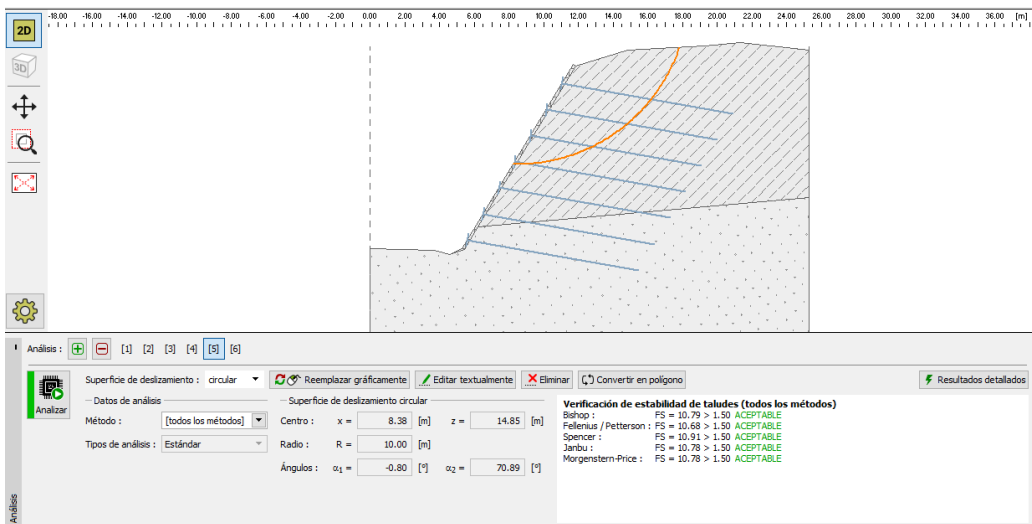
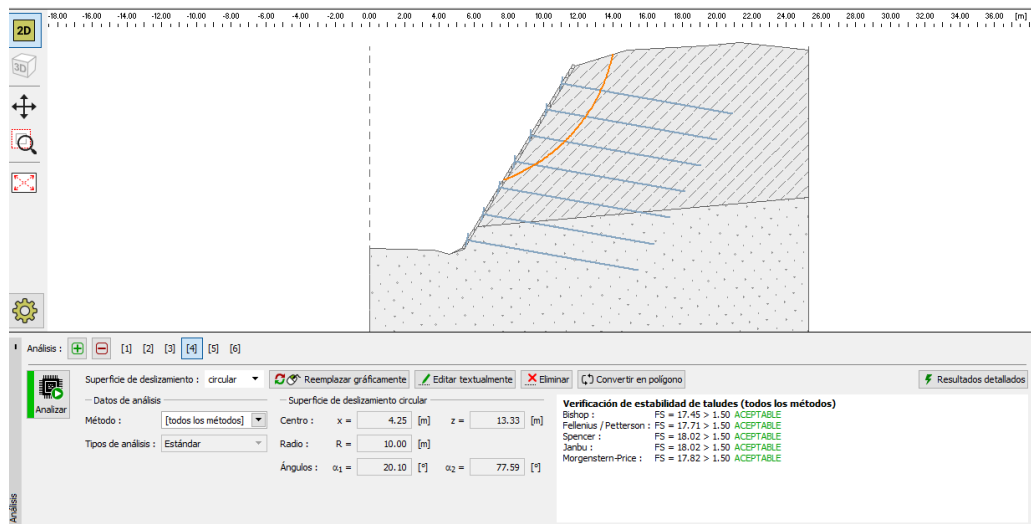
## 11. Bibliografía

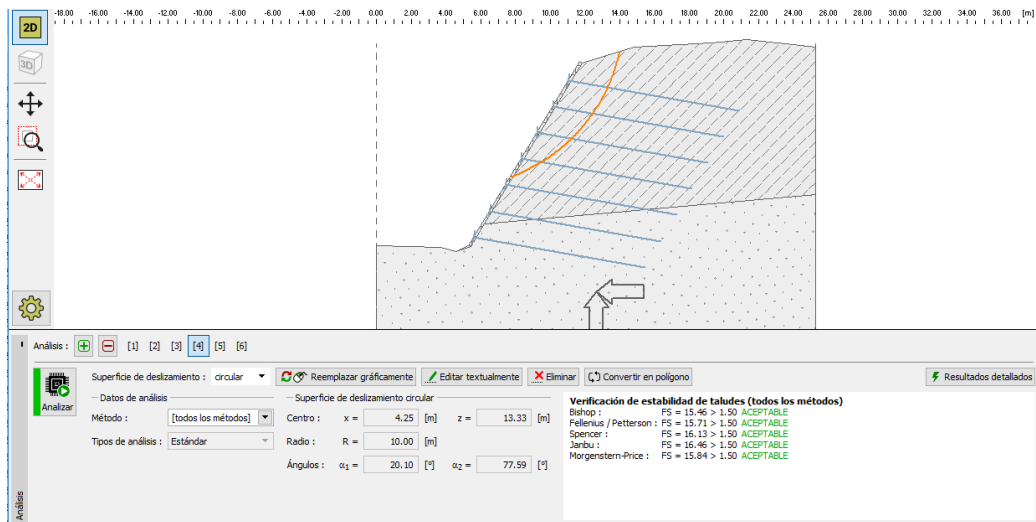
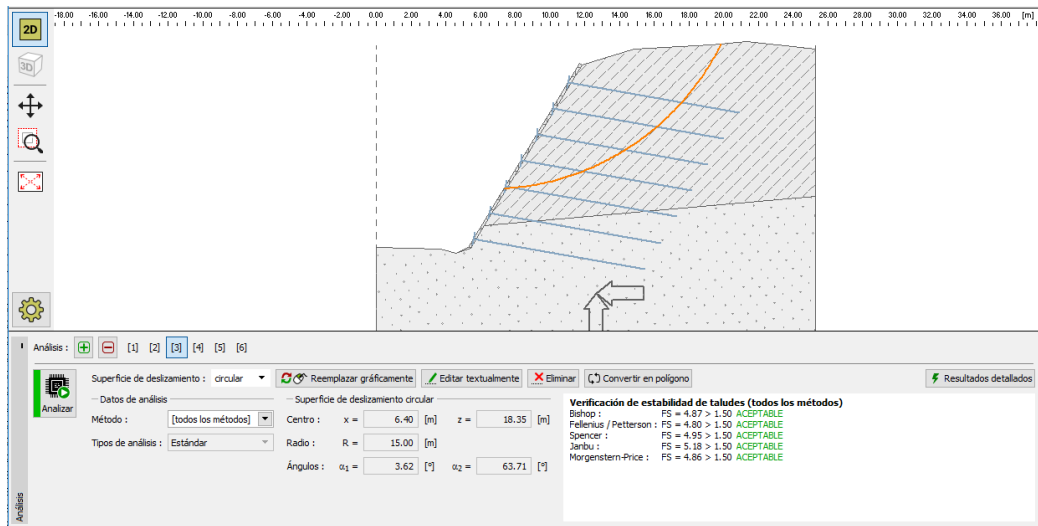
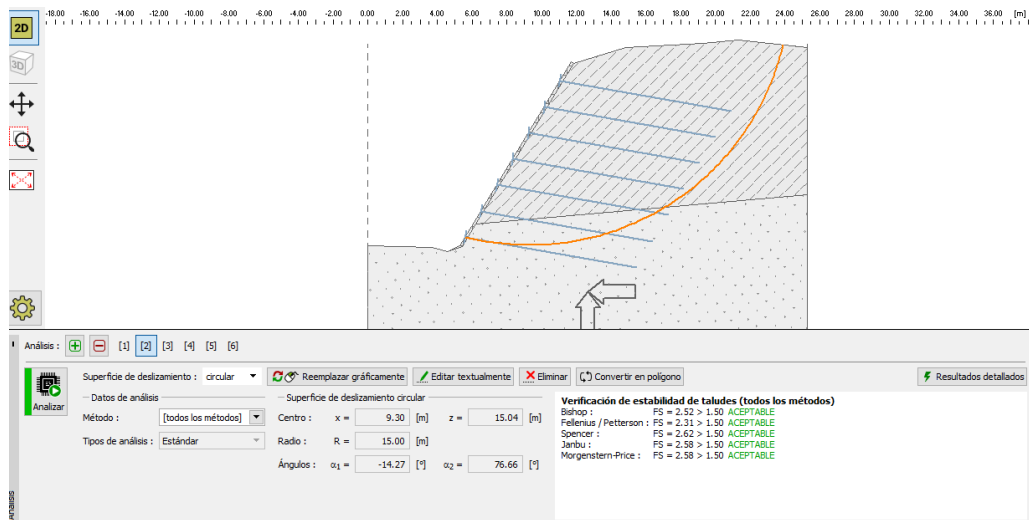
- Crespo, C. (2014). *Mecánica de suelos y cimentaciones* (Sexta ed.). México: Limusa.
- Das, B. (2001). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. Sacramento: THOMSON LEARNING.
- Días Rodríguez, J. A. (2014). *Mecánica de suelos: naturaleza y propiedades*. México: Trillas.
- Felio, B., Vucetic, M., Hudson, M., Barar, P., & Chapman, R. (1990). Performance of Soil Nailed Walls During the October 17, 1989, Loma Prieta Earthquake. *43rd Canadian Geotechnical Conference*, (págs. 165-173). Quebec.
- Gonzales de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *INGENIERÍA GEOLÓGICA*. Madrid: Pearson Educación.
- Merino Pozo, R. (2014). Evaluación de la dispersión de los contaminantes atmosféricos CO, SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> producto del desarrollo de actividades industriales del cantón Rumiñahui provincia de Pichincha. *Artículos Científicos - Carrera de Ingeniería en Biotecnología*.
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2015). *Norma Ecuatoriana de la Construcción*. Dirección de comunicación social, MIDUVI.
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2013). *Norma Ecuatoriana Vial*. Quito.
- Montenegro Procel, K. E., & Tipán Guallasamín, D. E. (2016). *ALTERNATIVAS DE ESTABILIZACIÓN DEL TALUD UBICADO EN EL KILÓMETRO 6+479 DEL PROYECTO DE AMPLIACIÓN DE LA AV. SIMÓN BOLÍVAR, TRAMO PANAMERICANA NORTE - TAJAMAR*. Quito.
- Morales Muñoz, B. O. (2012). *Metodología de estabilización de taludes de carreteras*. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Pourrut, P. (1983). *Los Climas del Ecuador*. Quito.
- Schnabel, H. (1982). *Tiebacks in Foundation Engineering and Construction*. New York: McGraw-Hill.
- Suarez, J. (2009). *Deslizamientos: técnicas de remediación*.
- U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration. (2015). *GEOTECHNICAL ENGINEERING CIRCULAR NO. 7- SOIL NAIL WALLS - REFERENCE MANUAL*. Washington: FHWA.
- Weatherby, D. E., & Nicholson, P. J. (1982). *Tiebacks Used for Landslide Stabilization*. Proceedings ASCE National Convention.

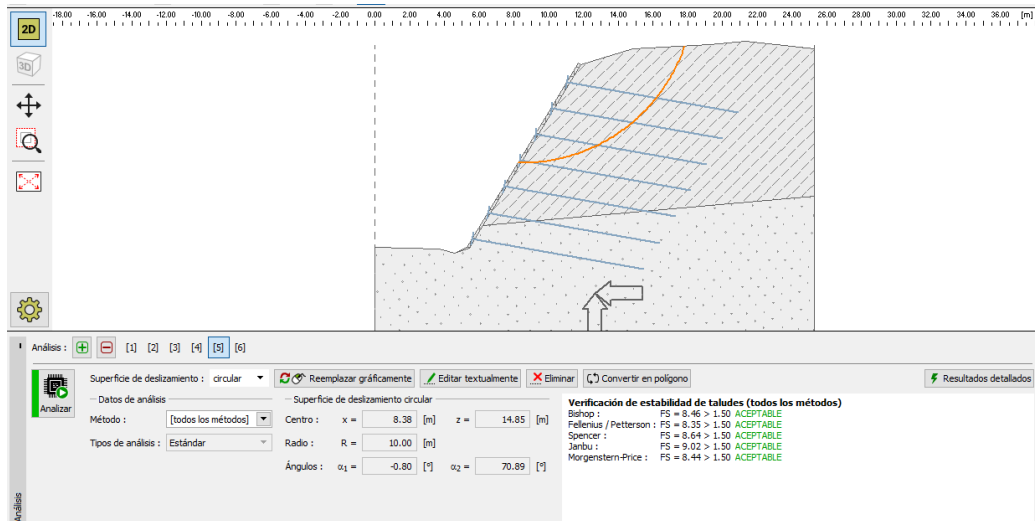
## 12. Anexos

### 12.1. Anexo 1.

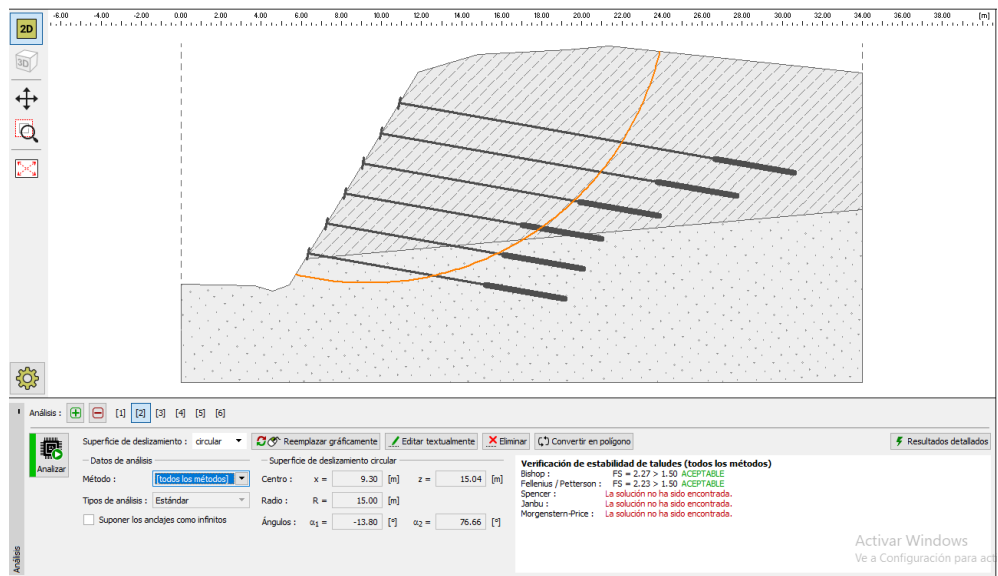
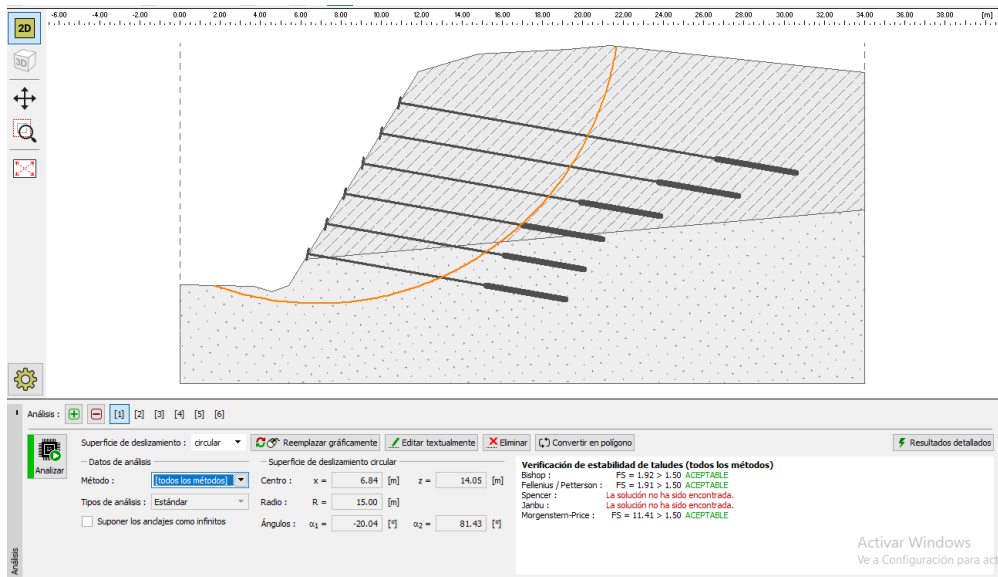


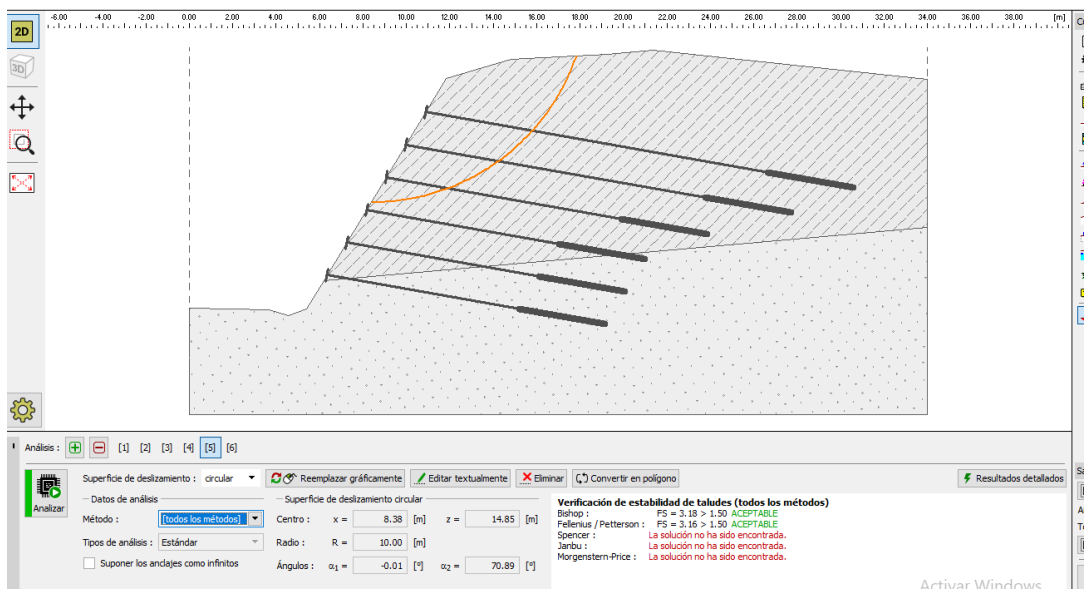
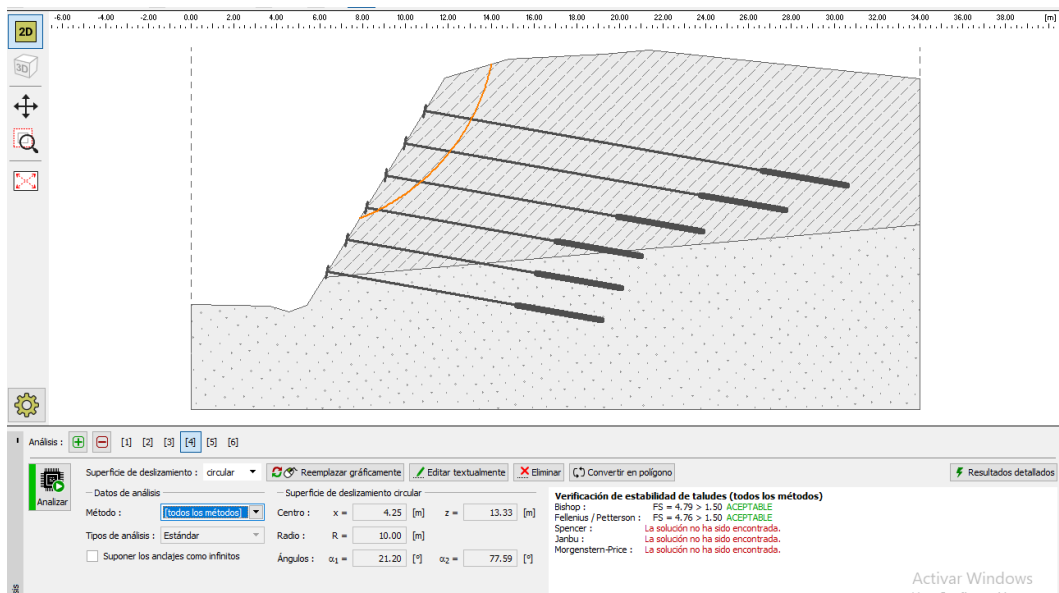
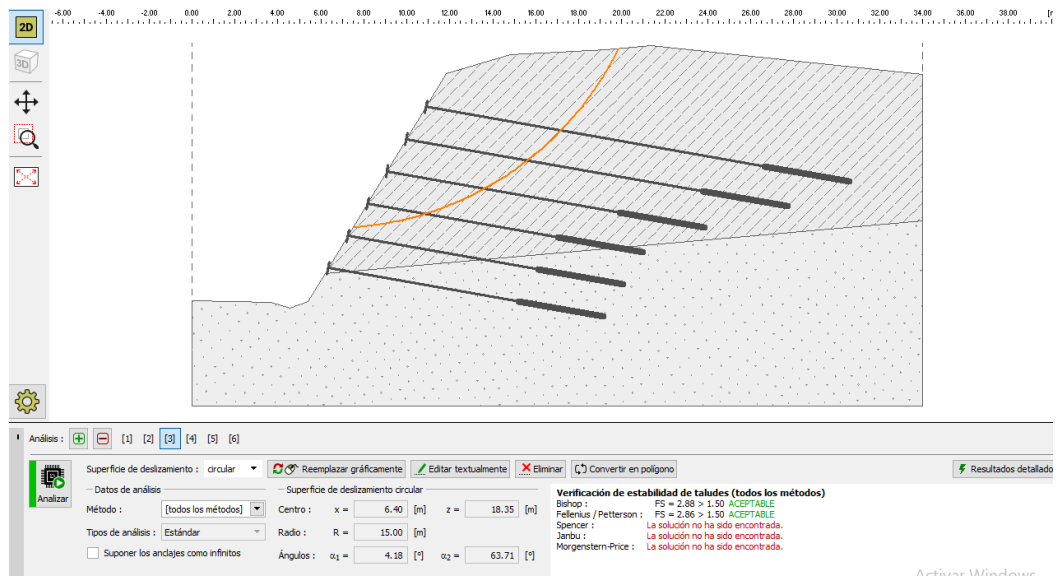




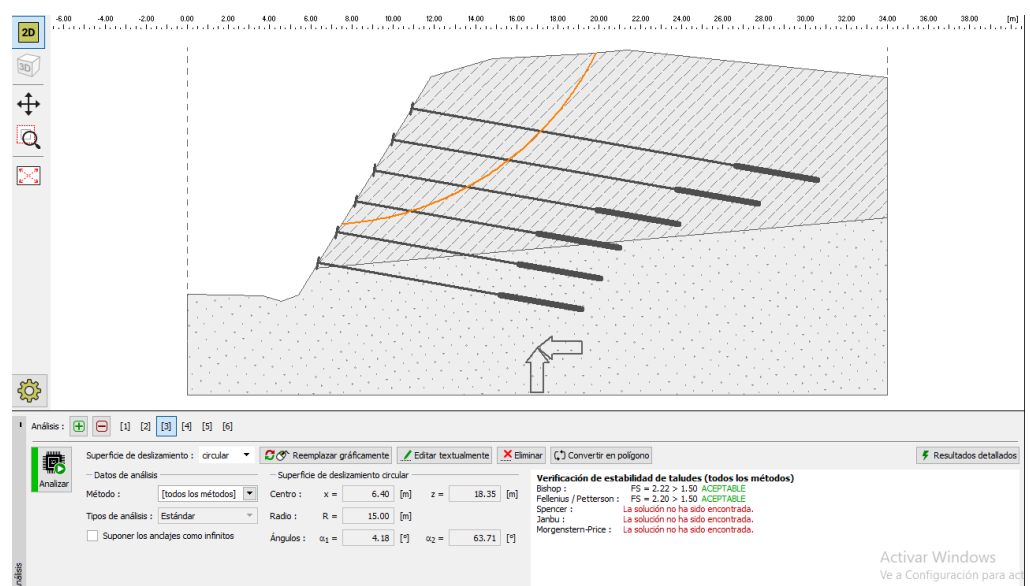
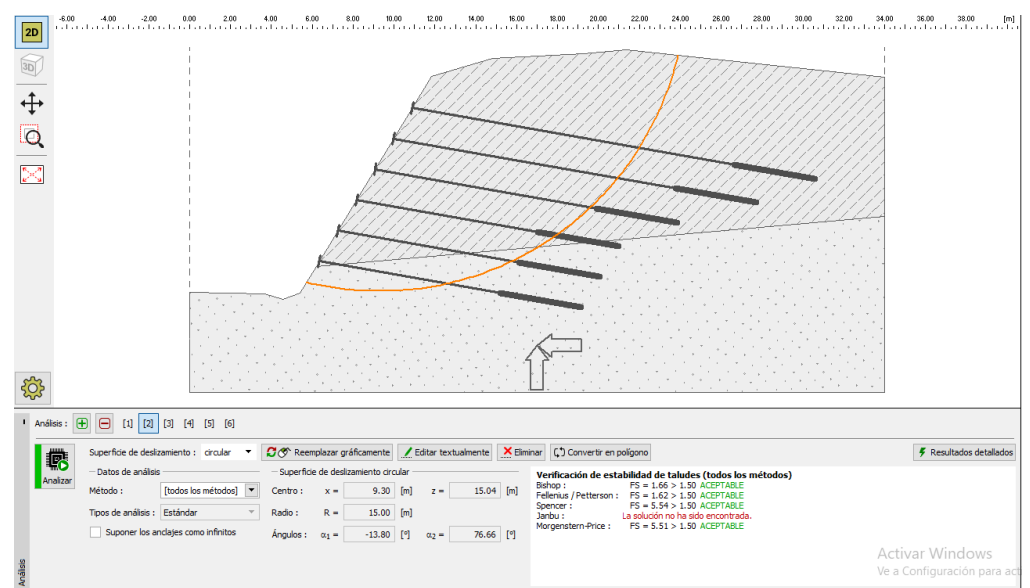
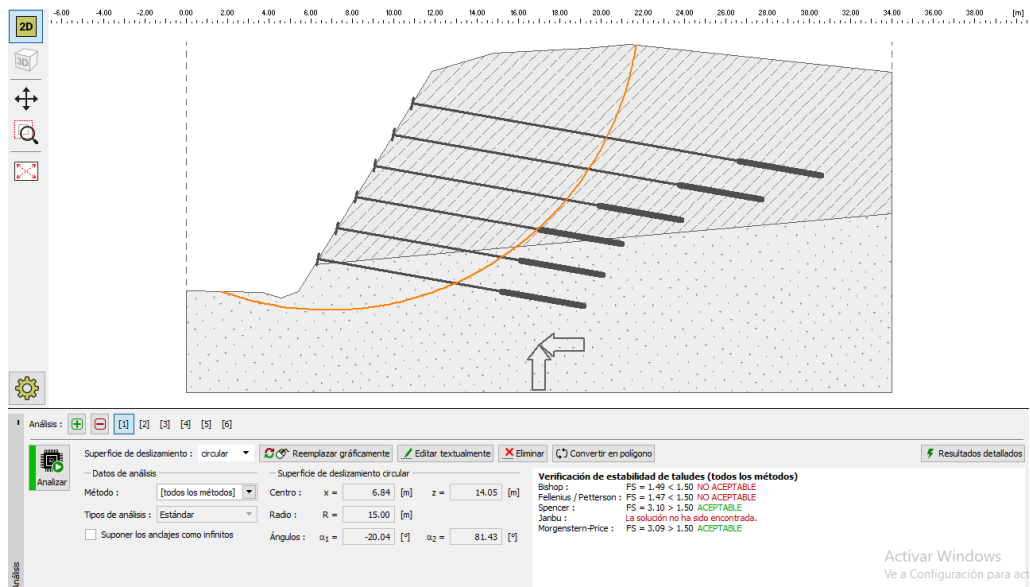


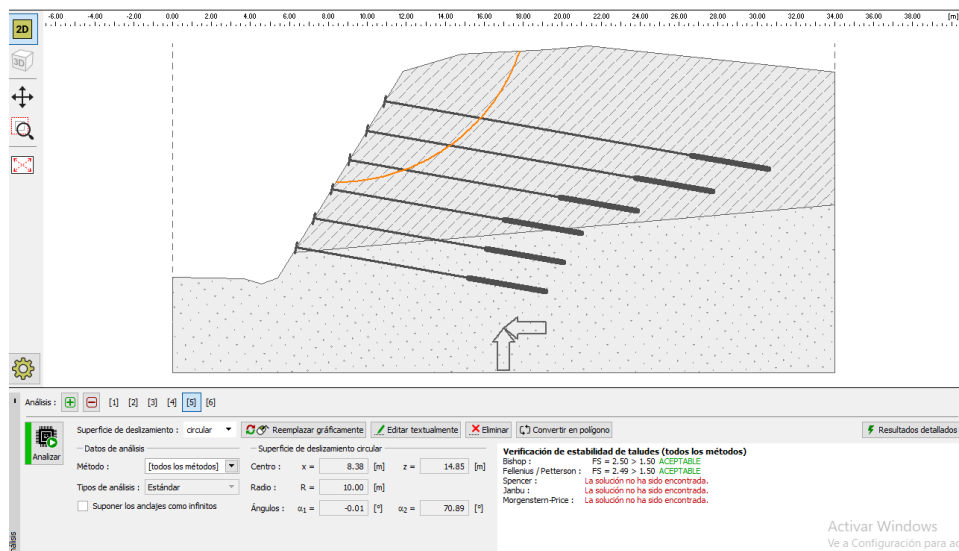
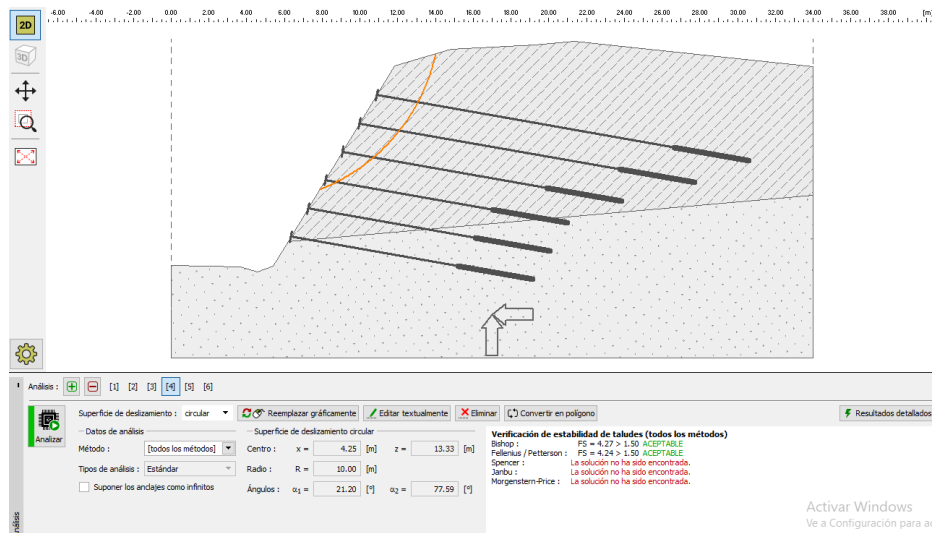
## 12.2. Anexo 2.



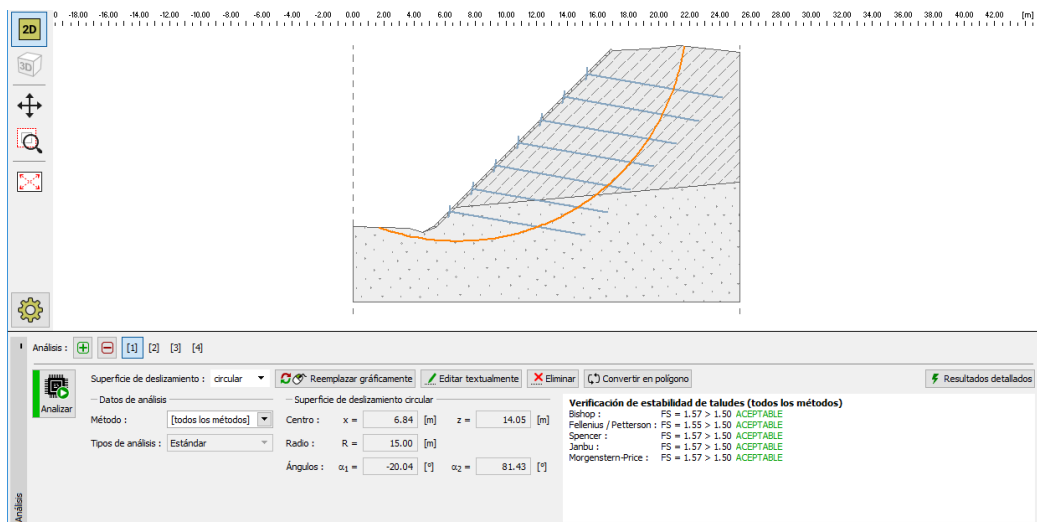


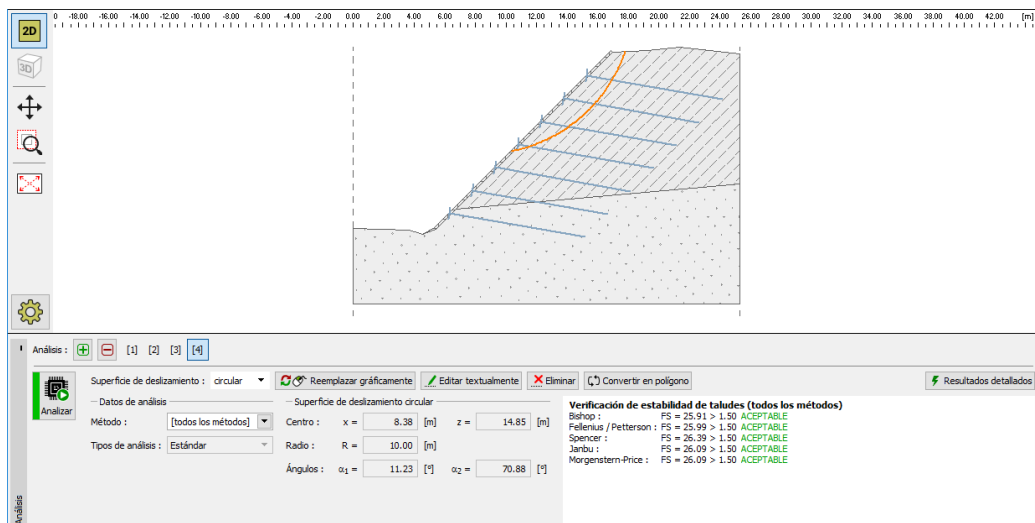
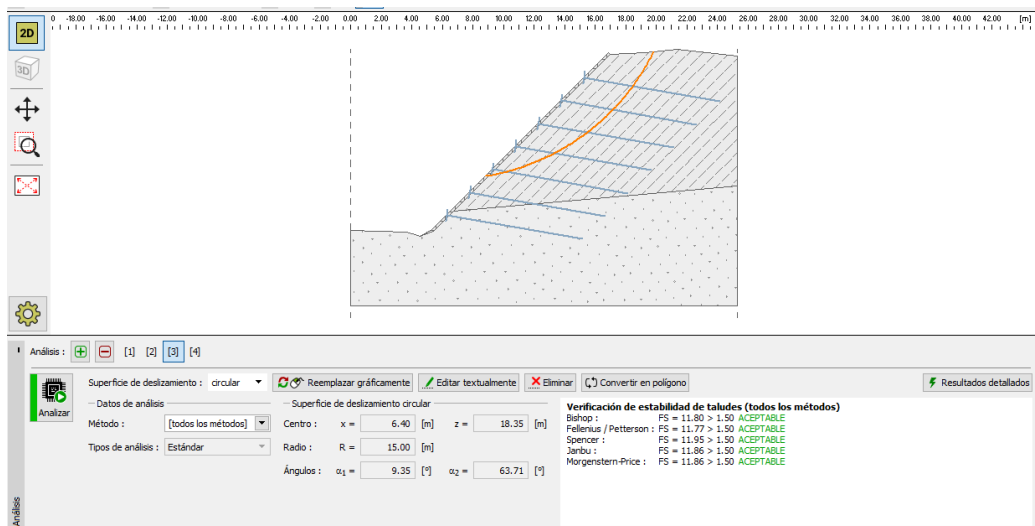
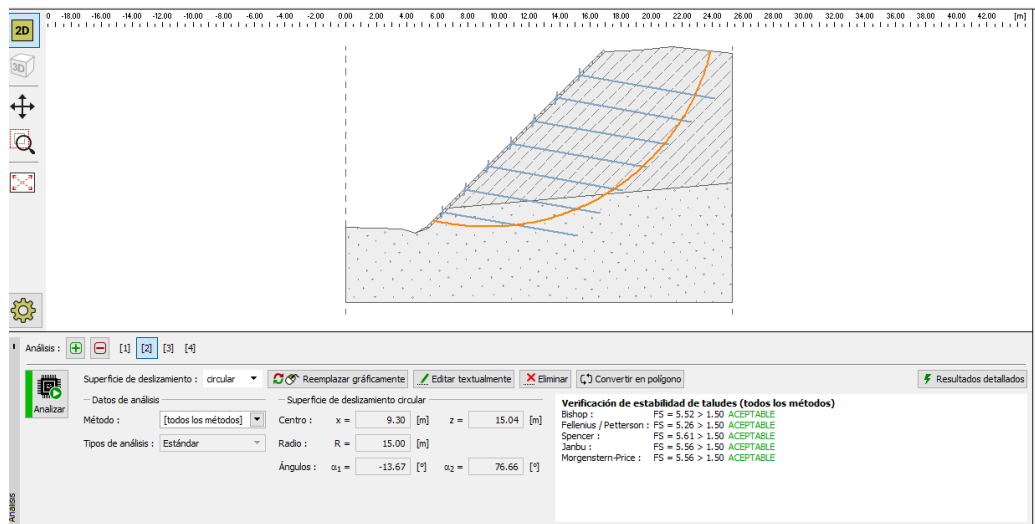


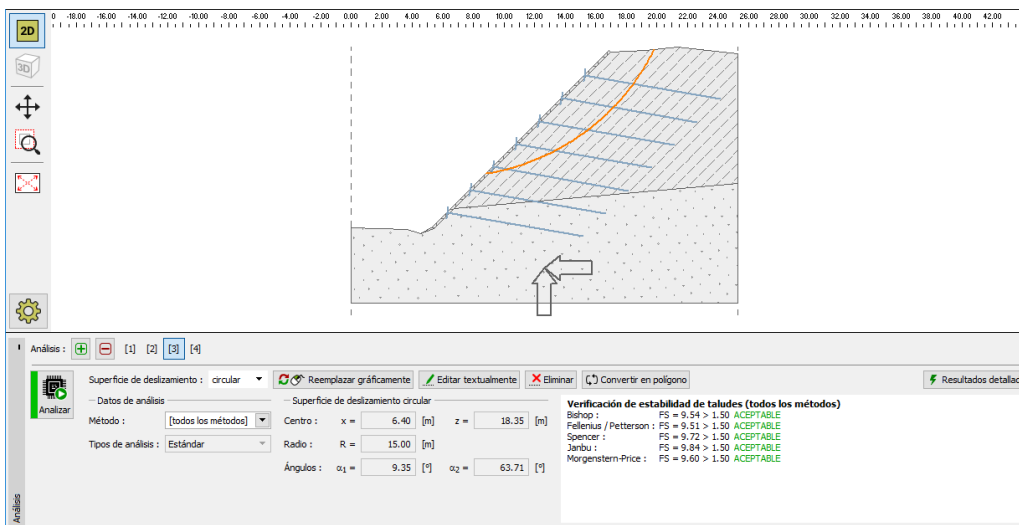
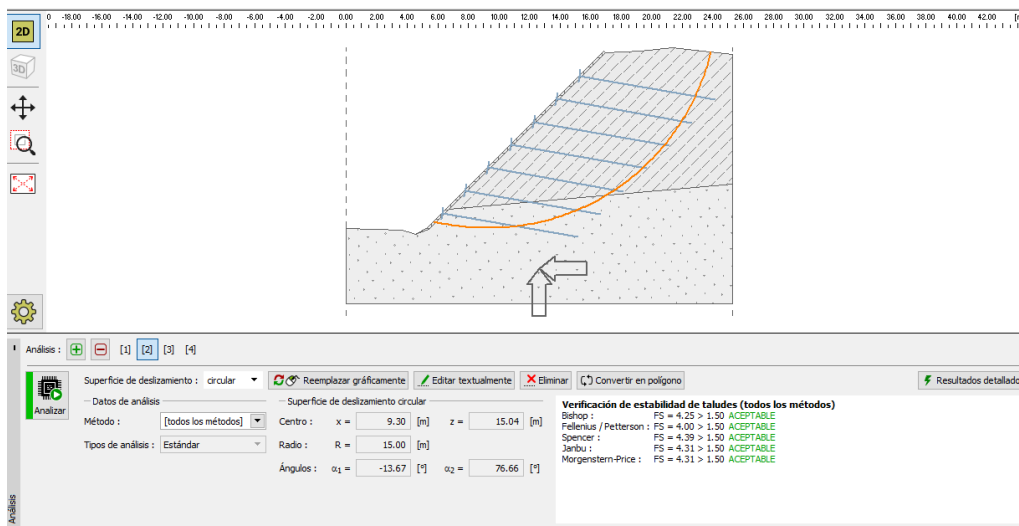
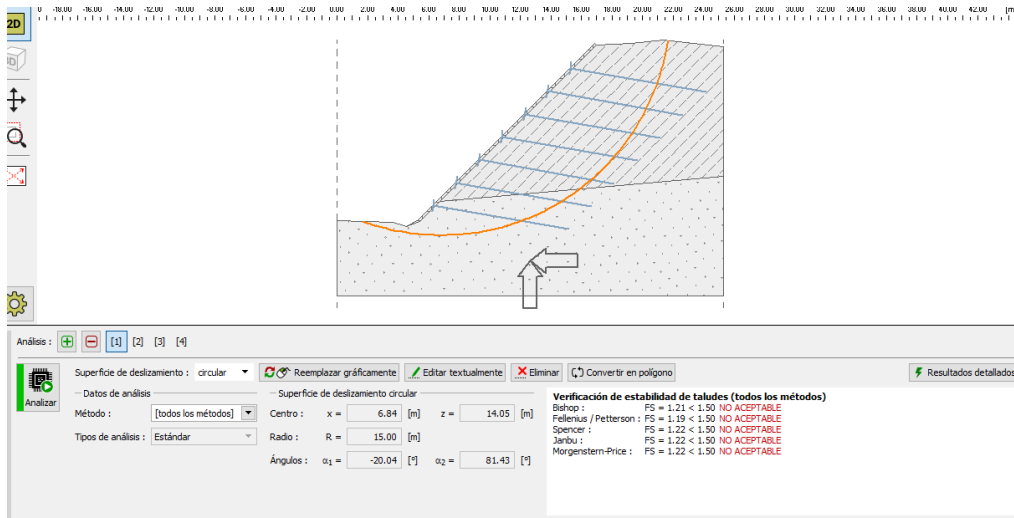


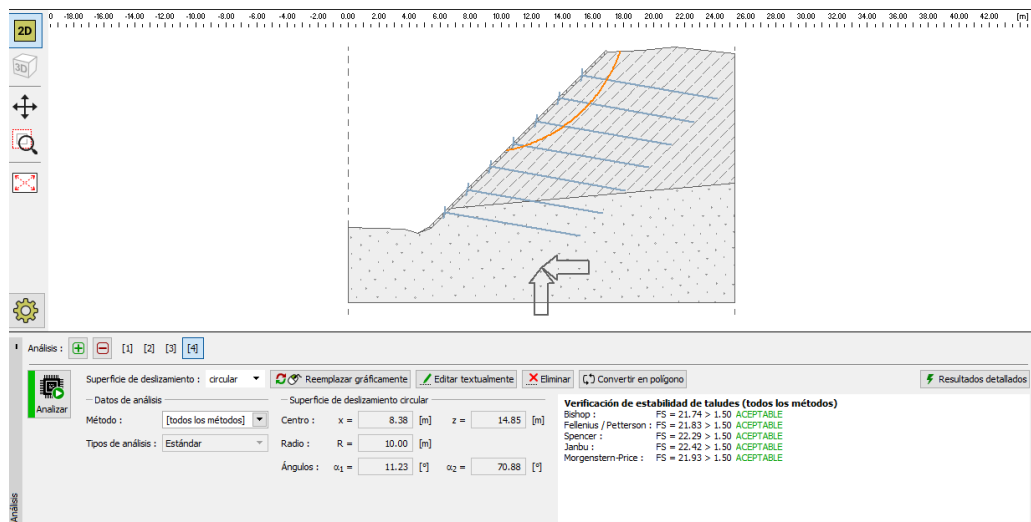


## 12.3. Anexo 3.









## 12.4. Anexo 4.

### ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO:		Excavación a máquina		CODIGO N :	
ESPECIFICACION:		Claveteado		UNIDAD:	m3

EQUIPO					
DESCRIPCION	Numero	TARIFA	C/HORA	Rend. u/h	COSTO TOTAL
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramienta Menor (5% M.O.)					0.04
Retroexcavadora de oruga	1.00	30.00	30.00	0.0700	2.10
SUB - TOTAL (M)					2.14

MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	Numero	JOR. / HORA	C / HORA	Rend. u/h	COSTO TOTAL
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Peón -Estruc.Ocup. E2	2.00	3.41	6.82	0.0700	0.48
Operador de Retroexcavadora-Estruc. C	1.00	3.82	3.82	0.0700	0.27
SUB - TOTAL (N)					0.75

MATERIALES					
DESCRIPCION	UND.	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO TOTAL	
		A	B	C = A x B	
SUB - TOTAL (O)					0.00

TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UND.	CANTIDAD	DMT (Km)	TARIFA (Km)	COSTO TOTAL
		A	B	C	D = A x B x C
SUB - TOTAL (N)					0
TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)					2.89
TOTAL COSTOS INDIRECTOS					0.58
UTILIDAD					0.00
PRECIO DE CALCULO					3.47

FIRMA DEL OFERENTE	PRECIO OFERTADO EN DOLARES \$	3.47
--------------------	-------------------------------	------

## ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO:	Acero de refuerzo fy=4200 kg/cm2	CODIGO N.:	
ESPECIFICACION:	Claveteado	UNIDAD:	kg

EQUIPO					
DESCRIPCION	Numero	TARIFA	C/HORA	Rend. u/h	COSTO TOTAL
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramienta Menor (5% M.O.)	1.00	1.00	1.00	0.0500	0.02
cortadora dobladora de hierro					0.05
SUB - TOTAL (M)					0.07

MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	Numero	JOR. / HORA	C / HORA	Rend. u/h	COSTO TOTAL
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Fierrero-Estruc.Ocup.D2	1.00	3.45	3.45	0.0500	0.17
Peón- Estruc.Ocup. E2	1.00	3.41	3.41	0.0500	0.17
SUB - TOTAL (N)					0.34

MATERIALES					
DESCRIPCION	UND.	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO TOTAL	
		A	B	C = A x B	
Acero de Refuerzo Fy= 4.200 Kg/cm2	kg	1.05	1.04	1.09	
Alambre de amarre #18 negro recocido	kg	0.05	2.20	0.11	
SUB - TOTAL (O)					1.20

TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UND.	CANTIDAD	DMT (Km)	TARIFA (Km)	COSTO TOTAL
		A	B	C	D = A x B x C
SUB - TOTAL (N)					0
TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)					1.61
TOTAL COSTOS INDIRECTOS				20.00	0.32
UTILIDAD				0.00	0.00
PRECIO DE CALCULO					1.93

FIRMA DEL OFERENTE

PRECIO OFERTADO EN DOLARES \$

1.93

## ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

		CODIGO N :	
RUBRO:	Hormigón proyectado f'c=280 kg/cm2	UNIDAD:	M3
ESPECIFICACION:	Claveteado		

EQUIPO					
DESCRIPCION	Numero	TARIFA	C/HORA	Rend. u/h	COSTO TOTAL
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Vibrador de Concreto	1.00	1.00	1.00	0.5000	0.50
Herramienta Menor (5% M.O.)					0.95
SUB - TOTAL (M)					1.45
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	Numero	JOR. / HORA	C / HORA	Rend. u/h	COSTO TOTAL
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Peón-Estruc.Ocup. E2	8.00	3.41	27.28	0.5000	13.64
Albañil-Estruc.Ocup. D2	2.00	3.45	6.90	0.5000	3.45
Maestro Mayor de Obras Civiles-Estruc.O	1.00	3.82	3.82	0.5000	1.91
SUB - TOTAL (N)					19.00
MATERIALES					
DESCRIPCION	UND.	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO TOTAL	
		A	B	C = A x B	
Hormigon Simple f'c'=210 Kg/cm2	m3	1.00	145.39	145.39	
SUB - TOTAL (O)					145.39
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UND.	CANTIDAD	DMT (Km)	TARIFA (Km)	COSTO TOTAL
		A	B	C	D = A x B x C
SUB - TOTAL (N)					0
TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)					165.84
TOTAL COSTOS INDIRECTOS				20.00	33.17
UTILIDAD				0.00	0.00
PRECIO DE CALCULO					199.01
FIRMA DEL OFERENTE					

**PRECIO OFERTADO EN DOLARES \$**

**199.01**



## ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

		CODIGO N :	
RUBRO:	Lechada de hormigón f'c=280 kg/cm2	UNIDAD:	M3
ESPECIFICACION:	Claveteado		

EQUIPO					
DESCRIPCION	Numero	TARIFA	C/HORA	Rend. u/h	COSTO TOTAL
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramienta Menor (5% M.O.)					0.95
SUB - TOTAL (M)					0.95
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	Numero	JOR. / HORA	C / HORA	Rend. u/h	COSTO TOTAL
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Peón-Estruc.Ocup. E2	8.00	3.41	27.28	0.5000	13.64
Albañil-Estruc.Ocup. D2	2.00	3.45	6.90	0.5000	3.45
Maestro Mayor de Obras Civiles-Estruc.O	1.00	3.82	3.82	0.5000	1.91
SUB - TOTAL (N)					19.00
MATERIALES					
DESCRIPCION	UND.	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO TOTAL	
		A	B	C = A x B	
Lechada de Hormigón Fc=280 Kg/cm2...Inc. Bomba	m3.	1.00	140.00	140.00	
SUB - TOTAL (O)					140.00
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UND.	CANTIDAD	DMT (Km)	TARIFA (Km)	COSTO TOTAL
		A	B	C	D = A x B x C
SUB - TOTAL (N)					0
TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)					159.95
TOTAL COSTOS INDIRECTOS				20.00	31.99
UTILIDAD				0.00	0.00
PRECIO DE CALCULO					191.94
FIRMA DEL OFERENTE					

**PRECIO OFERTADO EN DOLARES \$**

**191.94**

## ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO:	Malla electrosoldada 10.5mm a 10cm	CODIGO N.:	
ESPECIFICACION:	Claveteado	UNIDAD:	M2

EQUIPO					
DESCRIPCION	Numero	TARIFA	C/HORA	Rend. u/h	COSTO TOTAL
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramienta Menor (5% M.O.)					0.04
Cizalla/cortadora de hierro	1.00	1.00	1.00	0.0800	0.08
SUB - TOTAL (M)					0.12
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	Numero	JOR. / HORA	C / HORA	Rend. u/h	COSTO TOTAL
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Peón-Estruc.Ocup. E2	2.00	3.41	6.82	0.0800	0.55
Maestro Mayor de obras civiles -Estruc.O	0.10	3.82	0.38	0.0800	0.03
Albañil-Estruc.Ocup. D2	1.00	3.45	3.45	0.0800	0.28
SUB - TOTAL (N)					0.86
MATERIALES					
DESCRIPCION	UND.	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO TOTAL	
		A	B	C = A x B	
Malla electrosoldada R_524	m2	1.00	3.84	3.84	
SUB - TOTAL (O)					3.84
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UND.	CANTIDAD	DMT (Km)	TARIFA (Km)	COSTO TOTAL
		A	B	C	D = A x B x C
SUB - TOTAL (N)					0
TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)					4.82
TOTAL COSTOS INDIRECTOS 20.00					0.96
UTILIDAD 0.00					0.00
FIRMA DEL OFERENTE					PRECIO DE CALCULO 5.78

**PRECIO OFERTADO EN DOLARES \$**

**5.78**

## ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

		CODIGO N :	
RUBRO:	Acarreo de materiales excavados (1km)	UNIDAD:	M3
ESPECIFICACION:	Claveteado		

[illegible]

PRECIO OFERTADO EN DOLARES \$	2.77
-------------------------------	------

## ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO:		Excavación a máquina	CODIGO N :	
ESPECIFICACION:		Anclado	UNIDAD:	m3

[illegible]**PRECIO OFERTADO EN DOLARES \$**

3.47

## ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO:	Acero de refuerzo fy=4200 kg/cm2	CODIGO N :	
ESPECIFICACION:	Anclado	UNIDAD:	kg

EQUIPO					
DESCRIPCION	Numero	TARIFA	C/HORA	Rend. u/h	COSTO TOTAL
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramienta Menor (5% M.O.)	1.00	1.00	1.00	0.0500	0.02
cortadora dobladora de hierro					0.05
SUB - TOTAL (M)					0.07
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	Numero	JOR. / HORA	C / HORA	Rend. u/h	COSTO TOTAL
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Fierrero-Estruc.Ocup.D2	1.00	3.45	3.45	0.0500	0.17
Peón- Estruc.Ocup. E2	1.00	3.41	3.41	0.0500	0.17
SUB - TOTAL (N)					0.34
MATERIALES					
DESCRIPCION	UND.	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO TOTAL	
		A	B	C = A x B	
Acero de Refuerzo Fy= 4.200 Kg/cm2	kg	1.05	1.04	1.09	
Alambre de amarre #18 negro recocido	kg	0.05	2.20	0.11	
SUB - TOTAL (O)					1.20
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UND.	CANTIDAD	DMT (Km)	TARIFA (Km)	COSTO TOTAL
		A	B	C	D = A x B x C
SUB - TOTAL (N)					0
TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)					1.61
TOTAL COSTOS INDIRECTOS					0.32
UTILIDAD					0.00
PRECIO DE CALCULO					1.93
FIRMA DEL OFERENTE					

PRECIO OFERTADO EN DOLARES \$	1.93
-------------------------------	------

## ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO:		CODIGO N.:	
Hormigón proyectado f'c=280 kg/cm2		UNIDAD:	M3
ESPECIFICACION: Anclado			

EQUIPO					
DESCRIPCION	Numero	TARIFA	C/HORA	Rend. u/h	COSTO TOTAL
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Vibrador de Concreto	1.00	1.00	1.00	0.5000	0.50
Herramienta Menor (5% M.O.)					0.95
SUB - TOTAL (M)					1.45
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	Numero	JOR. / HORA	C / HORA	Rend. u/h	COSTO TOTAL
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Peón-Estruc.Ocup. E2	8.00	3.41	27.28	0.5000	13.64
Albañil-Estruc.Ocup. D2	2.00	3.45	6.90	0.5000	3.45
Maestro Mayor de Obras Civiles-Estruc.O	1.00	3.82	3.82	0.5000	1.91
SUB - TOTAL (N)					19.00
MATERIALES					
DESCRIPCION	UND.	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO TOTAL	
		A	B	C = A x B	
Hormigon Simple f'c'=210 Kg/cm2	m3	1.00	145.39	145.39	
SUB - TOTAL (O)					145.39
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UND.	CANTIDAD	DMT (Km)	TARIFA (Km)	COSTO TOTAL
		A	B	C	D = A x B x C
SUB - TOTAL (N)					0
TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)					165.84
TOTAL COSTOS INDIRECTOS					20.00
UTILIDAD					0.00
FIRMA DEL OFERENTE					PRECIO DE CALCULO
					199.01

**PRECIO OFERTADO EN DOLARES \$**

**199.01**

## ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO:	Lechada de hormigón f'c=280 kg/cm2	CODIGO N.º:	
ESPECIFICACION:	Anclado	UNIDAD:	M3

EQUIPO					
DESCRIPCION	Numero	TARIFA	C/HORA	Rend. u/h	COSTO TOTAL
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramienta Menor (5% M.O.)					0.95
SUB - TOTAL (M)					0.95
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	Numero	JOR. / HORA	C / HORA	Rend. u/h	COSTO TOTAL
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Peón-Estruc.Ocup. E2	8.00	3.41	27.28	0.5000	13.64
Albañil-Estruc.Ocup. D2	2.00	3.45	6.90	0.5000	3.45
Maestro Mayor de Obras Civiles-Estruc.O	1.00	3.82	3.82	0.5000	1.91
SUB - TOTAL (N)					19.00
MATERIALES					
DESCRIPCION	UND.	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO TOTAL	
		A	B	C = A x B	
Lechada de Hormigón Fc=280 Kg/cm2...Inc. Bomba	m3.	1.00	140.00	140.00	
SUB - TOTAL (O)					140.00
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UND.	CANTIDAD	DMT (Km)	TARIFA (Km)	COSTO TOTAL
		A	B	C	D = A x B x C
SUB - TOTAL (N)					0
TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)					159.95
TOTAL COSTOS INDIRECTOS					20.00
UTILIDAD					0.00
PRECIO DE CALCULO					191.94
FIRMA DEL OFERENTE					
PRECIO OFERTADO EN DOLARES \$					191.94

## ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO:	Tornillo autoperforante R51N	CODIGO N.:	
ESPECIFICACION:	Anclado	UNIDAD:	M

EQUIPO					
DESCRIPCION	Numero	TARIFA	C/HORA	Rend. u/h	COSTO TOTAL
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramienta Menor (5% M.O.)					0.22
SUB - TOTAL (M)					0.22

MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	Numero	JOR. / HORA	C / HORA	Rend. u/h	COSTO TOTAL
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Albañil (Estr.Oc D2)	1.00	3.55	3.55	0.6250	2.22
Peon (Estr.Oc E2)	1.00	3.51	3.51	0.6250	2.19
SUB - TOTAL (N)					4.41

MATERIALES					
DESCRIPCION	UND.	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO TOTAL	
		A	B	C = A x B	
Tornillo autoperforante R51N	M	1.10	26.43	29.07	
SUB - TOTAL (O)					29.07

TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UND.	CANTIDAD	DMT (Km)	TARIFA (Km)	COSTO TOTAL
		A	B	C	D = A x B x C
SUB - TOTAL (N)					0
TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)					33.70
TOTAL COSTOS INDIRECTOS				20.00	6.74
UTILIDAD				0.00	0.00
PRECIO DE CALCULO					40.44

FIRMA DEL OFERENTE

PRECIO OFERTADO EN DOLARES \$

40.44



## ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO:	Tornillo autoperforante R38N	CODIGO N°:	
ESPECIFICACION:	Anclado	UNIDAD:	M

EQUIPO					
DESCRIPCION	Numero	TARIFA	C/HORA	Rend. u/h	COSTO TOTAL
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramienta Menor	1.00	0.50	0.50	0.6250	0.31
SUB - TOTAL (M)					0.31

MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	Numero	JOR. / HORA	C / HORA	Rend. u/h	COSTO TOTAL
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Albañil (Estr.Oc D2)	1.00	3.55	3.55	0.6250	2.22
Peon (Estr.Oc E2)	1.00	3.51	3.51	0.6250	2.19
SUB - TOTAL (N)					4.41

MATERIALES					
DESCRIPCION	UND.	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO TOTAL	
		A	B	C = A x B	
Tornillo autoperforante R38N	M	1.10	19.38	21.32	
SUB - TOTAL (O)					21.32

TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UND.	CANTIDAD	DMT (Km)	TARIFA (Km)	COSTO TOTAL
		A	B	C	D = A x B x C
SUB - TOTAL (N)					0
TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)					26.04
TOTAL COSTOS INDIRECTOS					20.00
UTILIDAD					0.00
PRECIO DE CALCULO					31.25

FIRMA DEL OFERENTE

PRECIO OFERTADO EN DOLARES \$	31.25
-------------------------------	-------

## ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

		CODIGO N.º:	
RUBRO:	Gato hidráulico (tesado de anclajes)	UNIDAD:	U
ESPECIFICACION:	Anclado		

EQUIPO					
DESCRIPCION	Numero	TARIFA	C/HORA	Rend. u/h	COSTO TOTAL
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramienta Menor	1.00	0.50	0.50	0.7500	0.38
SUB - TOTAL (M)					0.38
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	Numero	JOR. / HORA	C / HORA	Rend. u/h	COSTO TOTAL
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Albañil (Estr.Oc D2)	1.00	3.55	3.55	0.7500	2.66
Peon (Estr.Oc E2)	1.00	3.51	3.51	0.7500	2.63
SUB - TOTAL (N)					5.29
MATERIALES					
DESCRIPCION	UND.	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO TOTAL	
		A	B	C = A x B	
Gato hidráulico (tesado de anclajes)	U	1.00	146.35	146.35	
SUB - TOTAL (O)					146.35
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UND.	CANTIDAD	DMT (Km)	TARIFA (Km)	COSTO TOTAL
		A	B	C	D = A x B x C
SUB - TOTAL (N)					0
TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)					152.02
TOTAL COSTOS INDIRECTOS				20.00	30.40
UTILIDAD				0.00	0.00
PRECIO DE CALCULO					182.42
FIRMA DEL OFERENTE					

**PRECIO OFERTADO EN DOLARES \$**

**182.42**

## ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO:	Malla electrosoldada 10.5mm a 10cm	CODIGO N :	
ESPECIFICACION:	Anclado	UNIDAD:	M2

EQUIPO					
DESCRIPCION	Numero	TARIFA	C/HORA	Rend. u/h	COSTO TOTAL
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramienta Menor (5% M.O.)					0.04
Cizalla/cortadora de hierro	1.00	1.00	1.00	0.0800	0.08
SUB - TOTAL (M)					0.12

MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	Numero	JOR. / HORA	C / HORA	Rend. u/h	COSTO TOTAL
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Peón-Estruc.Ocup. E2	2.00	3.41	6.82	0.0800	0.55
Maestro Mayor de obras civiles -Estruc.O	0.10	3.82	0.38	0.0800	0.03
Albañil-Estruc.Ocup. D2	1.00	3.45	3.45	0.0800	0.28
SUB - TOTAL (N)					0.86

MATERIALES					
DESCRIPCION	UND.	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO TOTAL	
		A	B	C = A x B	
Malla electrosoldada R_524	m2	1.00	3.84	3.84	
SUB - TOTAL (O)					3.84

TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UND.	CANTIDAD	DMT (Km)	TARIFA (Km)	COSTO TOTAL
		A	B	C	D = A x B x C
SUB - TOTAL (N)					0
TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)					4.82
TOTAL COSTOS INDIRECTOS					20.00
UTILIDAD					0.00
PRECIO DE CALCULO					5.78

FIRMA DEL OFERENTE

PRECIO OFERTADO EN DOLARES \$

5.78

## ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO:		CODIGO N.:	
Acarreo de materiales excavados (1km)		UNIDAD:	M3
ESPECIFICACION: Anclado			

EQUIPO					
DESCRIPCION	Numero	TARIFA	C/HORA	Rend. u/h	COSTO TOTAL
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramienta menor (5% M.O.) (5% M.O.)					0.03
Volquete 9m3	1.00	20.00	20.00	0.0288	0.58
Cargadora 115HP/2M3	1.00	36.00	36.00	0.0288	1.04
SUB - TOTAL (M)					1.65
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	Numero	JOR. / HORA	C / HORA	Rend. u/h	COSTO TOTAL
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
CHOFER: Volqueta (Estr.Oc.C1)	1.00	5.15	5.15	0.0288	0.15
Peon (Estr.Oc E2)	4.00	3.51	14.04	0.0288	0.40
Operador cargadora frontal (Estr.Oc.C1)	1.00	3.93	3.93	0.0288	0.11
SUB - TOTAL (N)					0.66
MATERIALES					
DESCRIPCION	UND.	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO TOTAL	
		A	B	C = A x B	

**PRECIO OFERTADO EN DOLARES \$**

**2.77**

## ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

	CODIGO N :	
RUBRO:	Excavación a máquina (tendido de talud)	UNIDAD: m3
ESPECIFICACION:	Reconformación + claveteado	

EQUIPO					
DESCRIPCION	Numero	TARIFA	C/HORA	Rend. u/h	COSTO TOTAL
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramienta Menor (5% M.O.)					0.05
Retroexcavadora de oruga	1.00	30.00	30.00	0.0900	2.70
SUB - TOTAL (M)					2.75
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	Numero	JOR. / HORA	C / HORA	Rend. u/h	COSTO TOTAL
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Peón -Estruc.Ocup. E2	2.00	3.41	6.82	0.0900	0.61
Operador de Retroexcavadora-Estruc. C	1.00	3.82	3.82	0.0900	0.34
SUB - TOTAL (N)					0.95
MATERIALES					
DESCRIPCION	UND.	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO TOTAL	
		A	B	C = A x B	
SUB - TOTAL (O)					0.00
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UND.	CANTIDAD	DMT (Km)	TARIFA (Km)	COSTO TOTAL
		A	B	C	D = A x B x C
SUB - TOTAL (N)					0
TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)					3.70
TOTAL COSTOS INDIRECTOS					20.00 0.74
UTILIDAD					0.00
PRECIO DE CALCULO					4.44
FIRMA DEL OFERENTE					

<b>PRECIO OFERTADO EN DOLARES \$</b>	<b>4.44</b>
--------------------------------------	-------------

## ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

	CODIGO N :	
RUBRO:	Excavación a máquina	UNIDAD: m3
ESPECIFICACION:	Reconformación + claveteado	

EQUIPO					
DESCRIPCION	Numero	TARIFA	C/HORA	Rend. u/h	COSTO TOTAL
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramienta Menor (5% M.O.)					0.04
Retroexcavadora de oruga	1.00	30.00	30.00	0.0700	2.10
SUB - TOTAL (M)					2.14
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	Numero	JOR. / HORA	C / HORA	Rend. u/h	COSTO TOTAL
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Peón -Estruc.Ocup. E2	2.00	3.41	6.82	0.0700	0.48
Operador de Retroexcavadora-Estruc. O	1.00	3.82	3.82	0.0700	0.27
SUB - TOTAL (N)					0.75
MATERIALES					
DESCRIPCION	UND.	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO TOTAL	
		A	B	C = A x B	
SUB - TOTAL (O)					0.00
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UND.	CANTIDAD	DMT (Km)	TARIFA (Km)	COSTO TOTAL
		A	B	C	D = A x B x C
SUB - TOTAL (N)					0
TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)					2.89
TOTAL COSTOS INDIRECTOS				20.00	0.58
UTILIDAD				0.00	0.00
PRECIO DE CALCULO					3.47
FIRMA DEL OFERENTE					

**PRECIO OFERTADO EN DOLARES \$**

**3.47**

## ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO:	Acero de refuerzo fy=4200 kg/cm2	CODIGO N :	
ESPECIFICACION:	Reconformación + claveteado	UNIDAD:	kg

EQUIPO					
DESCRIPCION	Numero	TARIFA	C/HORA	Rend. u/h	COSTO TOTAL
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramienta Menor (5% M.O.)					0.02
cortadora dobladora de hierro	1.00	1.00	1.00	0.0500	0.05
SUB - TOTAL (M)					0.07
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	Numero	JOR. / HORA	C / HORA	Rend. u/h	COSTO TOTAL
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Fierrero-Estruc.Ocup.D2	1.00	3.45	3.45	0.0500	0.17
Peón- Estruc.Ocup. E2	1.00	3.41	3.41	0.0500	0.17
SUB - TOTAL (N)					0.34
MATERIALES					
DESCRIPCION	UND.	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO TOTAL	
		A	B	C = A x B	
Acero de Refuerzo Fy= 4.200 Kg/cm2	kg	1.05	1.04	1.09	
Alambre de amarre #18 negro recocido	kg	0.05	2.20	0.11	
SUB - TOTAL (O)					1.20
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UND.	CANTIDAD	DMT (Km)	TARIFA (Km)	COSTO TOTAL
		A	B	C	D = A x B x C
SUB - TOTAL (N)					0
TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)					1.61
TOTAL COSTOS INDIRECTOS				20.00	0.32
UTILIDAD				0.00	0.00
PRECIO DE CALCULO					1.93
FIRMA DEL OFERENTE					

**PRECIO OFERTADO EN DOLARES \$**

**1.93**

## ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

	CODIGO N.º:	
RUBRO:	Hormigón proyectado f'c=280 kg/cm2	UNIDAD:
ESPECIFICACION:	Reconformación + claveteado	M3

EQUIPO					
DESCRIPCION	Numero	TARIFA	C/HORA	Rend. u/h	COSTO TOTAL
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Vibrador de Concreto	1.00	1.00	1.00	0.5000	0.50
Herramienta Menor (5% M.O.)					0.95
SUB - TOTAL (M)					1.45

MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	Numero	JOR. / HORA	C / HORA	Rend. u/h	COSTO TOTAL
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Peón-Estruc.Ocup. E2	8.00	3.41	27.28	0.5000	13.64
Albañil-Estruc.Ocup. D2	2.00	3.45	6.90	0.5000	3.45
Maestro Mayor de Obras Civiles-Estruc.O	1.00	3.82	3.82	0.5000	1.91
SUB - TOTAL (N)					19.00

MATERIALES					
DESCRIPCION	UND.	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO TOTAL	
		A	B	C = A x B	
Hormigon Simple fc'=210 Kg/cm2	m3	1.00	145.39	145.39	
SUB - TOTAL (O)					145.39

TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UND.	CANTIDAD	DMT (Km)	TARIFA (Km)	COSTO TOTAL
		A	B	C	D = A x B x C
SUB - TOTAL (N)					0
TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)					165.84
TOTAL COSTOS INDIRECTOS					33.17
UTILIDAD					0.00
FIRMA DEL OFERENTE					PRECIO DE CALCULO
					199.01

**PRECIO OFERTADO EN DOLARES \$**

**199.01**



## ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO:	Lechada de hormigón f'c=280 kg/cm2	CODIGO N :	
ESPECIFICACION:	Reconformación + claveteado	UNIDAD:	M3

EQUIPO					
DESCRIPCION	Numero	TARIFA	C/HORA	Rend. u/h	COSTO TOTAL
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramienta Menor (5% M.O.)					0.95
SUB - TOTAL (M)					0.95
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	Numero	JOR. / HORA	C / HORA	Rend. u/h	COSTO TOTAL
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Peón-Estruc.Ocup. E2	8.00	3.41	27.28	0.5000	13.64
Albañil-Estruc.Ocup. D2	2.00	3.45	6.90	0.5000	3.45
Maestro Mayor de Obras Civiles-Estruc.C	1.00	3.82	3.82	0.5000	1.91
SUB - TOTAL (N)					19.00
MATERIALES					
DESCRIPCION	UND.	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO TOTAL	
		A	B	C = A x B	
Lechada de Hormigón Fc=280 Kg/cm2_Inc. Bomba	m3.	1.00	140.00	140.00	
SUB - TOTAL (O)					140.00
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UND.	CANTIDAD	DMT (Km)	TARIFA (Km)	COSTO TOTAL
		A	B	C	D = A x B x C
SUB - TOTAL (N)					0
TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)					159.95
TOTAL COSTOS INDIRECTOS				20.00	31.99
UTILIDAD				0.00	0.00
FIRMA DEL OFERENTE					PRECIO DE CALCULO
					191.94

**PRECIO OFERTADO EN DOLARES \$**

**191.94**

## ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

		CODIGO N :	
RUBRO:	Malla electrosoldada 10.5mm a 10cm	UNIDAD:	M2
ESPECIFICACION:		Reconformación + claveteado	

EQUIPO					
DESCRIPCION	Numero	TARIFA	C/HORA	Rend. u/h	COSTO TOTAL
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramienta Menor (5% M.O.)					0.04
Cizalla/cortadora de hierro	1.00	1.00	1.00	0.0800	0.08
SUB - TOTAL (M)					0.12
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	Numero	JOR. / HORA	C / HORA	Rend. u/h	COSTO TOTAL
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Peón-Estruc.Ocup. E2	2.00	3.41	6.82	0.0800	0.55
Maestro Mayor de obras civiles -Estruc.O	0.10	3.82	0.38	0.0800	0.03
Albañil-Estruc.Ocup. D2	1.00	3.45	3.45	0.0800	0.28
SUB - TOTAL (N)					0.86
MATERIALES					
DESCRIPCION	UND.	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO TOTAL	
		A	B	C = A x B	
Malla electrosoldada R_524	m2	1.00	3.84	3.84	
SUB - TOTAL (O)					3.84
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UND.	CANTIDAD	DMT (Km)	TARIFA (Km)	COSTO TOTAL
		A	B	C	D = A x B x C
SUB - TOTAL (N)					0
TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)					4.82
TOTAL COSTOS INDIRECTOS					20.00
UTILIDAD					0.00
PRECIO DE CALCULO					5.78
FIRMA DEL OFERENTE					

**PRECIO OFERTADO EN DOLARES \$**

**5.78**

### ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

CODIGO N :					
RUBRO:	Acarreo de materiales excavados (1km)			UNIDAD:	M3
ESPECIFICACION:	Reconformación + claveteado				

EQUIPO					
DESCRIPCION	Numero	TARIFA	C/HORA	Rend. u/h	COSTO TOTAL
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramienta menor (5% M.O.) (5% M.O.)					0.03
Volquete 9m3	1.00	20.00	20.00	0.0288	0.58
Cargadora 115HP/2M3	1.00	36.00	36.00	0.0288	1.04
SUB - TOTAL (M)					1.65

MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	Numero	JOR. / HORA	C / HORA	Rend. u/h	COSTO TOTAL
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
CHOFER: Volqueta (Estr.Oc.C1)	1.00	5.15	5.15	0.0288	0.15
Peon (Estr.Oc.E2)	4.00	3.51	14.04	0.0288	0.40
Operador cargadora frontal (Estr.Oc.C1)	1.00	3.93	3.93	0.0288	0.11
SUB - TOTAL (N)					0.66

MATERIALES					
DESCRIPCION	UND.	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO TOTAL	
		A	B	C = A x B	
SUB - TOTAL (O)					0.00

TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UND.	CANTIDAD	DMT (Km)	TARIFA (Km)	COSTO TOTAL
		A	B	C	D = A x B x C
SUB - TOTAL (N)					0
TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)					2.31
TOTAL COSTOS INDIRECTOS					0.46
UTILIDAD					0.00
PRECIO DE CALCULO					2.77

FIRMA DEL OFERENTE	PRECIO OFERTADO EN DOLARES \$
	<b>2.77</b>

12.5. Anexo 5.